

Обзор данных о полях напряжений мезозойд Северо-Востока Азии, полученных кинематическим методом

© *В. В. Гончар, 2016*

Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

Поступила 20 апреля 2016 г.

Представлено членом редколлегии О. Б. Гинтовым

Виконано реконструкцію, узагальнено і проаналізовано дані, що характеризують поля напружень різних областей мезозойд Північного Сходу Азії (Верхояно-Колімської складчастої області). На основі площового кинематичного знімання досліджено поля напружень Північного Хараулаха і хребта Арга-Тас; для внутрішніх областей (Середнє Верхояння і пояс Черського) залучено опубліковані прямі і непрямі дані щодо кинематики розломів. Виділено поля напружень, відповідальні за формування основної складчастої структури, а також до- і післяскладчасті поля. За орієнтуванням осей головних напружень описано багатоетапні, просторово неоднорідні умови деформування мезозойд в обставинах стиснення, пластичного і крихкого розтягування, меншою мірою зсуву. Встановлено доскладчасте розтягнення у верхоянській серії Північного Хараулаха; а також поширені умови післяскладчастого крихкого розтягування в різних доменах поясу Черського. Реконструйовані деформаційні обставинки Північного Хараулаха і хребта Арга-Тас збігаються з визначеним за сейсмологічними даними сучасним полем напружень.

Ключові слова: Верхояно-Колімська система мезозойд, поля напружень, кинематичний метод реконструкції, механізми формування структур.

Введение. Территория мезозойд северо-восточной Азии (Верхояно-Колымская складчатая система) привлекает внимание исследователей как образец достаточно ясной палеогеодинамической позиции, отраженной в последовательной эволюции континентальной окраины из пассивной в активную с коллизией в финале [Парфенов и др., 1993; Оксман, 2000; Чехов, 2000]. В этом контексте она может служить полигоном для разносторонней отработки моделей данного типа. Более дискуссионным является постколлизионный неотектонический этап, для которого обсуждаются возможности продолжения в складчатую область рифтогенных структур арктического океанического бассейна, функционирование диффузной границы Северо-Американской и Евразийской литосферных плит или вероятность автономного внутриплитного рифтогенеза [Грачев, 1973; Артемов, Иванов, 1988; Парфенов и др., 2001; Гончар, 2006 и др.]. На этом фоне существенным пробелом в исследованиях представляется, мягко говоря, недостаточная изученность действовавших полей напряжений, которыми, собственно, обосно-

вываются механизмы деформирования и, в значительной степени, геодинамические обстановки. Первая попытка планомерной реконструкции полей напряжений была предпринята Г. С. Гусевым [Гусев, 1979]. Ограничения методики сопряженных сколов не позволили эффективно использовать ее результаты в палеогеодинамических построениях. С целью получения новых выводов о тектоногенезе на Северо-Востоке Азии были обработаны и (пере)интерпретированы имеющиеся у автора и найденные в открытой печати данные кинематической реконструкции.

Авторский материал касается двух районов (рис. 1): севера Хараулахского хребта (район Тикси) и хр. Арга-Тас, характеризующих противоположные краевые зоны Верхояно-Колымской складчатой области. Из работы [Задорожный, 2002] взяты векторы смещений, замеренные в пределах месторождений Мангазейское и Прогноз внутри Верхоянской провинции. Оставшаяся обширная область мезозойд предстает в плане реконструкций большим белым пятном. В попытке сократить объем неопределенности были использованы

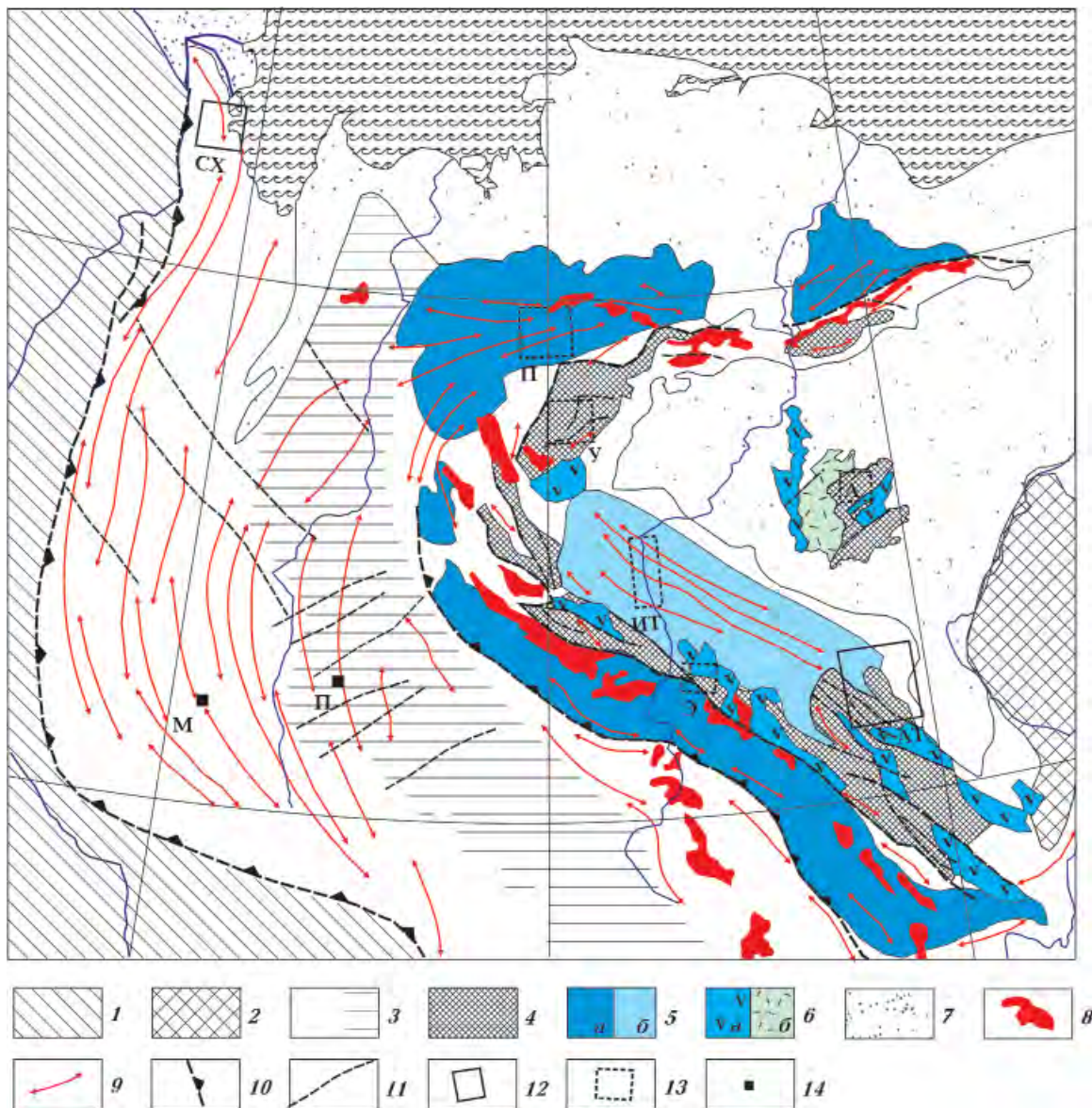


Рис. 1. Схема тектоники мезозойского северо-востока Азии [Парфенов и др., 1993; Оксман, 2000; Чехов, 2000]: 1 — Сибирская платформа; 2 — Омолонский докембрийский массив; 3—6 — Верхояно-Колымская складчатая область (3 — районы, занятые деформированным осадочным чехлом пассивной окраины Сибирского континента (верхоянская серия (C₁—J₃), заштрихована т.н. «зона пологих дислокаций» [Мезозойская..., 1983]); 4 — палеозойские блоки коллизионного пояса Черского; 5 — осадочные породы среднепозднеюрского преддугового (а) и позднеюрского задугового (б) прогибов; 6 — вулканогенные образования (а — позднеюрские островодужные, б — меловые син- и посторогенные [Ставский, 1981]); 7 — позднекайнозойский осадочный чехол; 8 — раннемеловые синколлизионные гранитоиды; 9 — оси складок [Гусев, 1979]; 10 — основные тектонические швы; 11 — прочие разломы; 12 — районы полевых исследований автора (СХ — Северный Хараулах, АТ — Арга-Тас); 13—14 — районы исследований, по которым проводилась переинтерпретация данных Г. С. Гусева [Гусев, 1979] (П — Полоусный, У — Уяндина, ИТ — Илин-Тас, Э — Эрикит) и Д. Н. Задорожного [Задорожный, 2002] (М — Мангазая, П — Прогноз).

косвенные данные, содержащиеся в работе [Гусев, 1979]. С их помощью приближенно описаны этапы деформаций в пределах пояса Черского и соседнего Алазейского поднятия, чем значительно расширена география исследований.

Поля напряжений, полученные в результате полевых исследований кинематики разломов. Применяемая техника количественной реконструкции наложенных полей напряжений развита в рамках кинематического метода О. И. Гуценко, как наиболее эффективного

при региональных исследованиях [Гущенко, 1979; Сим, 1991; Гинтов, 2005]. Основу анализа в ней составляет вероятностная стереограмма (ВС), отражающая историю деформирования посредством рассчитываемых максимумов вероятности осей главных нормальных напряжений [Гончар, 2013а]. Совместное рассмотрение на ВС получаемых максимумов осей и характеристик наклона слоев, а также предположение о горизонтальном положении одной или двух главных осей, позволяют выстроить относительную временную последовательность полей напряжений и складчатости. Совпадение наклонных осей (максимумов вероятности) с плоскостью напластования — аргумент в пользу того, что соответствующая деформация происходила при горизонтальном положении слоев в доскладчатом состоянии; возвращение смещений в исходное состояние и расчет обратно повернутой ВС дает ориентировку осей доскладчатого поля напряжений. Этот принцип разделения до- и послескладчатых этапов деформаций базируется на предположении о сохранении доскладчатого парагенезиса разрывов в объеме наклонно залегающих пород, в тектонофизических исследованиях он используется как в отношении парагенезисов сколовых трещин [Гинтов, 2005], так и кинематических данных [Saintot et al., 1999; Navabrou et al., 2007]. В этой связи необходимо отличать вторичные наклонные положения осей от первоначально наклонных, достоверным признаком которых является сочетание с горизонтальным залеганием слоев.

Северный Хараулах. Результаты реконструкции и некоторые выводы по Северному Хараулаху уже публиковались [Гончар, 1998, 2004]. Здесь в полном виде приведены первичные данные кинематического анализа, а также выполнено разделение полей напряжений относительно соскладчатого вращения, что существенно дополняет представления об истории деформирования.

В широтном пересечении домен Северного Хараулаха имеет ярко выраженное асимметричное строение (рис. 2, а); его восточная часть (тиксинская зона) сложена каменноугольными дистальными турбидитами, интенсивно кливажированными, метаморфизованными в зеленосланцевой фации; на западе, в основном по Севастьяновскому покровно-надвиговому шву, каменноугольные отложения граничат с пермско-нижнетриасовой мелководно-обломочной толщей, слои которой смяты в относительно крупные линейные

складки и лишены метаморфогенных преобразований [Гусев, 1979; Парфенов, 1988]. Принципиальные различия в строении двух зон видны на разрезах (рис. 2, б—д), из которых следует, в частности, для тиксинской зоны сингенетичность кливажа и складчатости, варьирующей от слабой, пологоволнистой (рис. 2, б) до опрокинутой изоклиальной (рис. 2, в). На западе в пермских отложениях развиты крутые слабоасимметричные складки, как открытые — концентрического типа (рис. 2, г), так и сжатые изоклиальные, ассоциирующие с зонами субвертикального течения алевролитов и будинажа песчаников (2, д). Л. М. Парфенов, приводя данные о различии в простирании складок в восточной и западной частях Хараулахского хребта [Парфенов, 1988], делает вывод о двух этапах складчатости: раннем, с которым связано кливажное течение в тиксинской зоне, и более позднем, в ходе которого сформировался субмеридиональный фронтальный складчатонадвиговой пояс. Приводимые результаты реконструкции в общем подтверждают неоднократность и вариации направлений горизонтального сжатия, ими же подчеркивается различие в механизмах деформирования двух областей [Гончар, 1998].

ВС, совмещенные с кинематическими векторами, на основе которых проводился расчет, приведены в Приложении (рис. П1—П3). На них также вынесены полюса кливажа, полюса и дуги больших кругов слоистости. Все построения в стереографической проекции выполнялись на верхнюю полусферу. Реконструированы поля напряжений только первого рангового уровня (наиболее статистически представительные), выделение подчиненных полей, основанных на противоречащих первому ранговому полю, векторах смещений, не производилось. Эти исследования, важные с точки зрения анализа наложенных деформаций, могут быть выполнены в будущем.

На рис. 3, а вынесены данные о полях напряжений в горизонтально залегающих слоях как исходных, так и обратно повернутых. Последние указывают на доскладчатое растяжение на западе в пермских и на востоке в каменноугольных отложениях, направления которого варьируют от субширотного до северо-восточного. В одной точке в центре, вблизи Севастьяновского надвига, есть признак субмеридионального сжатия, на берегу моря выявлено также субмеридиональное растяжение. Вопрос с выбором соскладчатых напряжений в реалиях Северного Хараулаха не решается однознач-

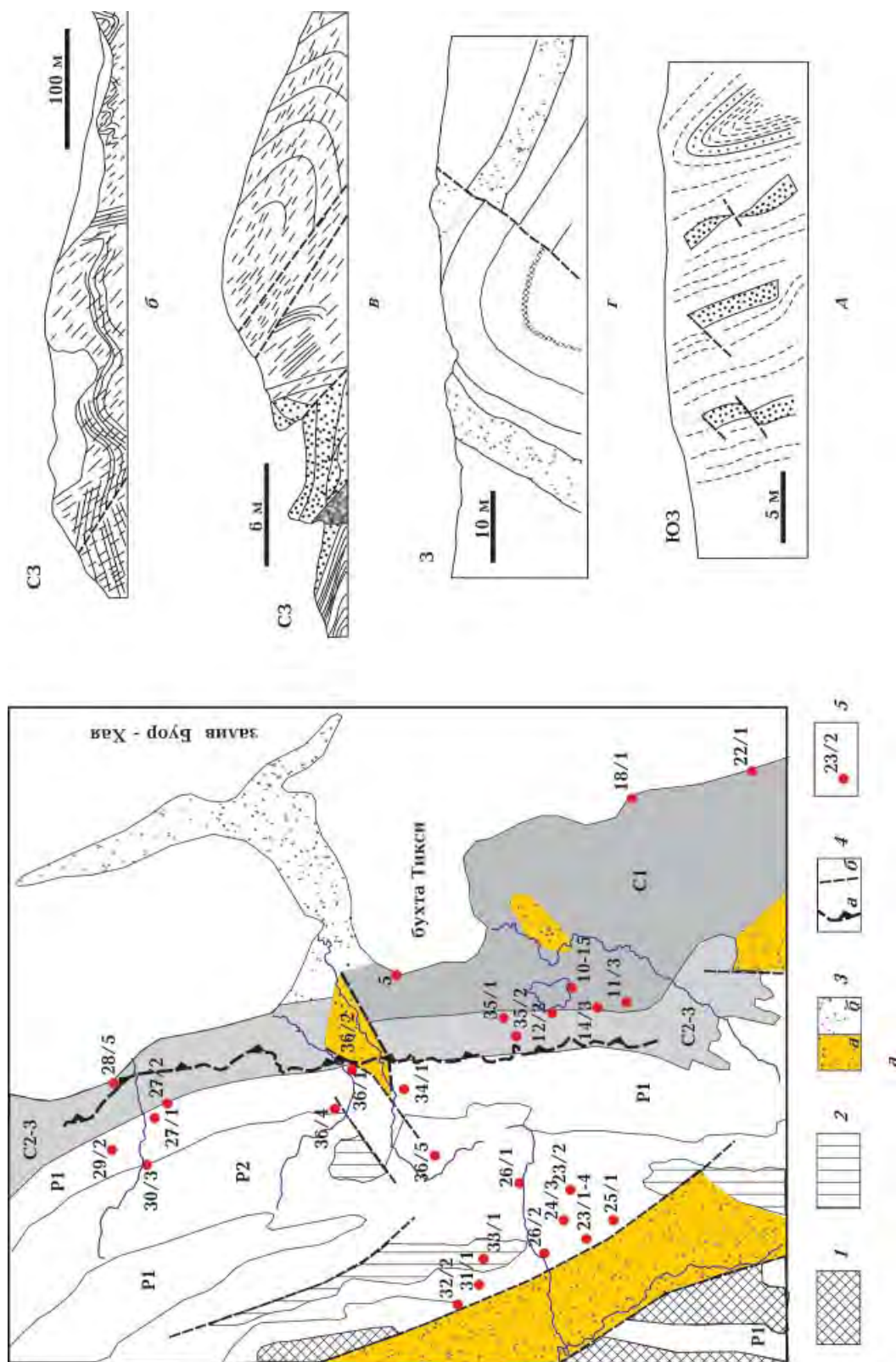


Рис. 2. Схема геологического строения Северного Хараулаха [Геологическая..., 1975] (а); 1 — породы основания верхоянского комплекса; 2 — нижнетриасовые отложения; 3 — чехол палеогеновых (а) и четвертичных (б) впадин; 4 — Севастьяновский шов [Парфенов, 1988] (а), прочие разломы (б); 5 — точка наблюдения и ее номер; б—д — структурные разрезы, демонстрирующие стиль деформаций тиксинской зоны (а и б, по [Парфенов, 1988; Рокоріев et al., 1999]) и западной складчатой зоны (г и д, данные автора); короткие штрихи на разрезах — кливаж.

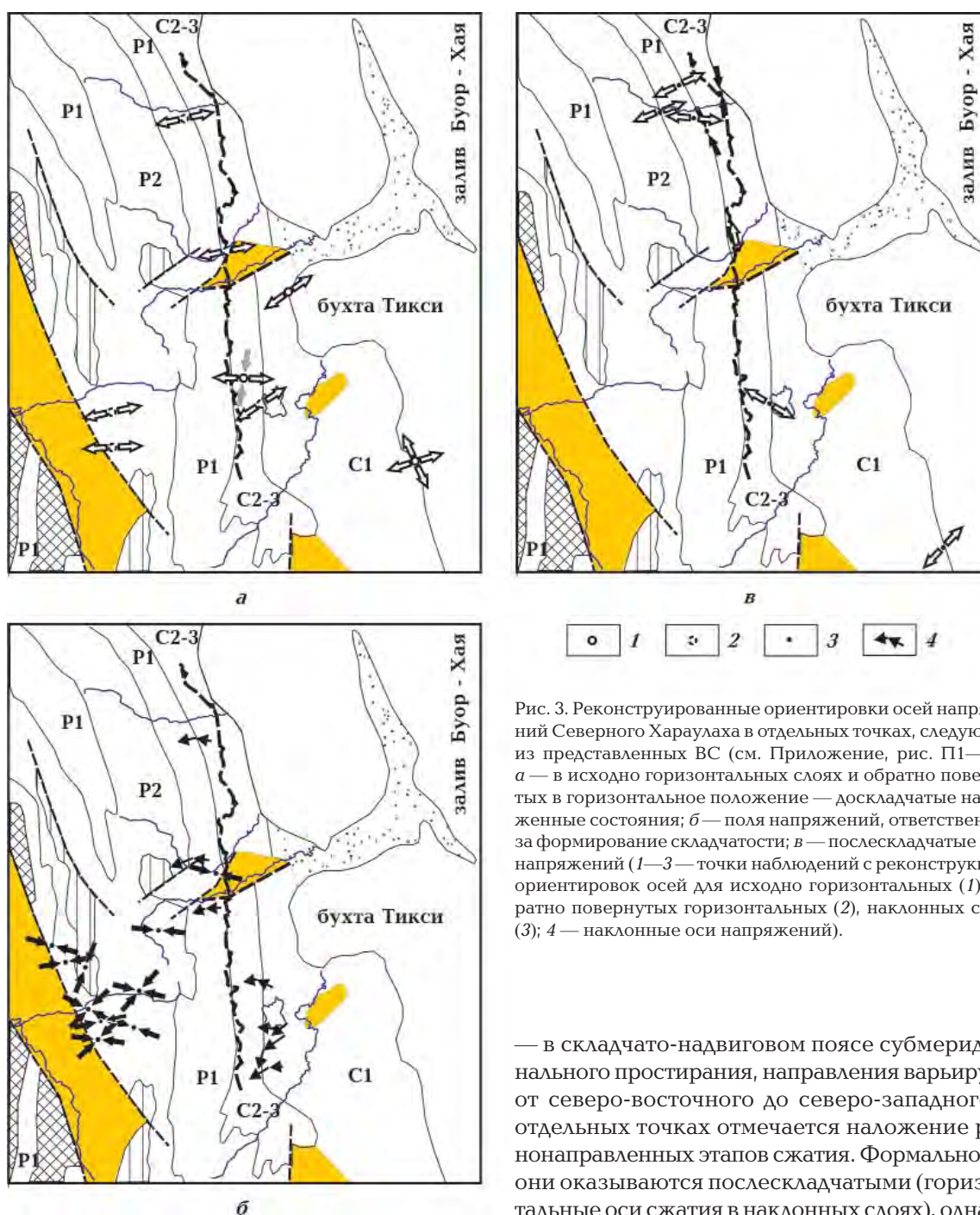


Рис. 3. Реконструированные ориентировки осей напряжений Северного Хараулаха в отдельных точках, следующие из представленных ВС (см. Приложение, рис. П1—П3): а — в исходно горизонтальных слоях и обратно повернутых в горизонтальное положение — доскладчатые напряженные состояния; б — поля напряжений, ответственные за формирование складчатости; в — послескладчатые поля напряжений (1—3 — точки наблюдений с реконструкцией ориентировок осей для исходно горизонтальных (1), обратно повернутых горизонтальных (2), наклонных слоев (3); 4 — наклонные оси напряжений).

но. Определенно соскладчатым на востоке и в центре является поле напряжений наклонного сжатия, максимум оси которого совпадает с полюсами кливажа на сфере (см. Приложение, рис. П1—П2). На карте эти наклонные оси сжатия и растяжения фиксируются вдоль Севастьяновского шва, как к востоку, так и к западу от него (рис. 3, б). Обстановки горизонтального сжатия доминируют в западной части хребта

— в складчато-надвиговом поясе субмеридионального простирания, направления варьируют от северо-восточного до северо-западного, в отдельных точках отмечается наложение разнонаправленных этапов сжатия. Формально все они оказываются послескладчатыми (горизонтальные оси сжатия в наклонных слоях), однако, фактически, они же могут быть ответственными за формирование складчатой структуры. Более однозначно в центральной и восточной части хребта фиксируются условия послескладчатого горизонтального растяжения при существенном разбросе направлений (рис. 3, в); в северной части присутствуют также обстановки меридионального сжатия, дискордантные по отношению к простираниям структур.

Кратко суммируя выводы о полях напряжений Хараулахского хребта, подчеркнем,

что обстановки деформирования оказываются четко дифференцированы относительно структурной зональности Хараулахского хребта. На западе доминирует горизонтальное сжатие, по-видимому, ответственное за формирование складчато-надвигового пояса; в восточной, тиксинской зоне, где складчатость спорадическая, часто слабая или отсутствует вовсе, поле напряжений проявлено либо наклонным сжатием, либо горизонтальным растяжением (за редкими исключениями). Эта закономерность уже отмечалась и привлекалась в качестве аргумента при принятии глубинно-гравитационной (адвекционной) модели развития пологодислоцированных структур Верхоянья [Гончар, 1998, 2004].

Хребет Арга-Тас и Зырянская впадина.

Данная область принадлежит юго-восточному окончанию внутренней зоны коллизионного пояса Черского [Оксман, 2000] (см. рис. 1), деформационная история которой началась задолго до коллизионных событий в позднеюрскую — раннемеловую эпоху. Основу строения определяет сложный комплекс палеозойских — раннемезозойских образований, сформировавшихся в условиях терригенно-карбонатного шельфа Верхоянской пассивной окраины, рифтовых и островодужных сегментов с вулканогенно-осадочным выполнением, а также зон океанического спрединга и подводных гор (рис. 4, а) [Ставский, 1988; Парфенов и др., 1993; Оксман, 2000; Чехов, 2000]. Это обстоятельство дало основание предположить аккреционный генезис палеозойско-раннемезозойского комплекса [Ставский, 1988], ранее рассматривавшегося в качестве складчатого основания гипотетического Колымского срединного массива [Тектоника..., 1981]. Особенности строения — линейность, чешуйчатые моноклинали при отсутствии полноценной складчатости (такой, как в Верхоянской области) — соответствуют представлению о формировании палеозойско-раннемезозойского комплекса в условиях аккреции, с тем лишь уточнением, что, по-видимому, имело место наложение позднего горизонтального сжатия, приведшего чешуи аккреционного клина преимущественно в субвертикальное положение (рис. 4, б). В строении Арга-Тасского блока также участвуют позднеюрские вулканиты — производные Уяндино-Ясачненской вулканической дуги; редким распространением пользуются небольшие поздне-раннемезозойские гранитоидные интрузивы. С палеозойско-раннемезозойским комплексом

по простиранию сочленяются позднеюрские складчатые терригенные толщи Илин-Тасского антиклинория, ранее выполнявшие одноименный наложенный прогиб. Раннемеловые терригенные угленосные отложения Зырянского прогиба слагают погружающееся северо-восточное крыло антиклинория. Они деформированы в стиле типичного для краевых прогибов парагенезиса асимметричной складчатости и листрических взбросо-надвигов, распространяющихся центробежно в сторону оси прогиба [Гайдук и др., 1990] (рис. 4, в). Принципиальным в контексте интерпретации данных о полях напряжений и палеогеодинамических реконструкций является вывод о весьма молодом (позднемиоценовом) возрасте складчатости в Илин-Тасском антиклинории и прилегающих прогибах [Гайдук и др., 1990].

Представленные здесь материалы ранее не публиковались. Точки наблюдений распределены по пяти участкам, расположенным в междуречье рек Зырянка и Рассоха (рис. 4, а). Исходные ВС приведены в Приложении, рис. П4—П6. Реконструированные напряжения первого рангового уровня (наиболее статистически представительные) разделялись на до- и послескладчатые (см. рис. 4, а и б). В нижнем течении Зырянки охарактеризована деформация нижнемеловых отложений Зырянского прогиба (участок Угольный, точки Уг1, Уг4-5, Уг7). Породы залегают в виде пологой моноклинали с падением на юго-запад, для них реконструируются обстановки северо-восточного горизонтального сжатия. В случае точки Уг7 фиксируется наклонные положения осей, совпадающих с напластованием (рис. П4). Это — ортогональная система, поэтому для нее была рассчитана обратно повернутая ВС, возвращающая слои в горизонтальное положение (рис. П6). Это дало то же восточно-северо-восточное направление доскладчатого горизонтального сжатия, соответствующее направлениям в соседних точках (рис. 5, а и б). Других выраженных направлений действия осей и обстановок деформирования обнаружено не было, что подчеркивается сравнительной простотой полученных ВС. Можно сделать вывод, что развитие структур в этой части Зырянского прогиба протекало перманентно в условиях взбросового режима, характеризуемого северо-восточным сжатием, в ходе которого слои испытывали первичную складчатость.

Следующий участок (верховье руч. Гонюха, точки Гн3-4, Гн6-9, Гн7) расположен на сочленении антиклинория Илин-Тас с Зырянским

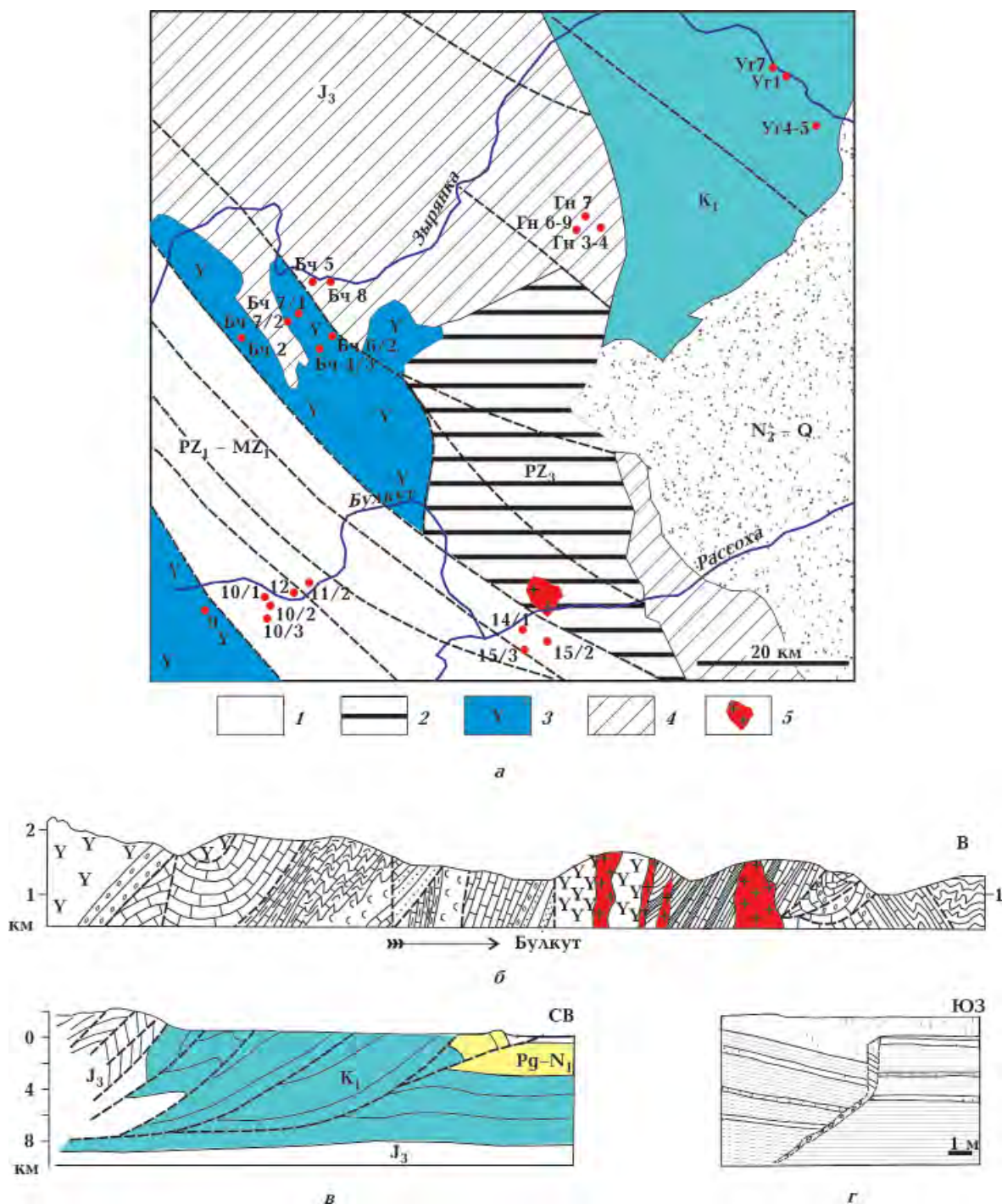


Рис. 4. Схема геологического строения области сочленения хр. Ильян-Тас и Арга-Тас [Геологическая..., 1975; Ставский, 1988] (а) 1 — палеозойско-раннемезозойский аккреционный комплекс пассивной окраины и энсиалической островной дуги; 2 — позднепалеозойский океанический субдукционный комплекс; 3 — позднеюрская Уяндино-Ясачненская вулканическая дуга; 4 — терригенные образования позднеюрского Ильян-Тасского задугового прогиба; 5 — гранитоиды раннего мела; б-г — геологические разрезы (б — аккреционный комплекс вдоль русла р. Булкут [Гусев, 1979], в — пере-сечение северо-восточного крыла Ильян-Тасского антиклинория и Зырянской впадины [Гайдук и др., 1990], г — образец сбросовой тектоники уч. Бочера (данные автора)).

прогибом. Породы, представленные кливажированными аргиллитами и алевролитами, залегают моноклинально с пологим падением к северо-востоку. Здесь определены доскладчатые взбросовые обстановки с северо-северо-восточным и восточно-северо-восточным направлениями сжатия, а также сдвиговое поле. Наклонный кливаж (см. Приложение, рис. П4), совпадая на стереограмме с максимумами оси сжатия, входит в ортогональную систему с напластованием. Это позволяет трактовать его как сингенетичный полю напряжений доскладчатого горизонтального сжатия, а его наклонное залегание — приобретенным вследствие складчатого вращения толщи. Послескладчатым здесь также определяется северо-восточное сжатие.

Как видим, условия деформирования в предгорном прогибе и на сочленении его с антиклинорием в целом близки и включают: 1) исходное горизонтальное сжатие исходно горизонтальных слоев, 2) последующее складчатое вращение, 3) продолжение действия того же горизонтального сжатия на складчатые слои. В качестве отличия и усложнения бортовой зоны отметим появление доскладчатой сдвиговой обстановки.

Участок Бочера (точки Бч2 — Бч8), расположенный вблизи правого борта долины Зырянки в ее среднем течении (руч. Бочера и Агынджа), охватывает позднеюрские терригенные породы Илин-Тасского прогиба и находящиеся на его продолжении вулканиты Уяндино-Ясачненской дуги (рис. 4, а). Вполне ожидаемо для центральной части антиклинория здесь фиксируется северо-восточное сжатие, перпендикулярное основным простираниям складчатых структур. Однако довольно неожиданно в объеме вулканитов выявлены поля сбросового и сдвигового типов, которые сочетаются с пологим залеганием пород (см. рис. 4, г). Направления действия растяжения — северо-восточное и субмеридиональное, в случае сдвигового поля — северо-западное. По-видимому, здесь мы имеем дело с реликтами обстановок растяжения и сдвига, предварявших складчатое деформирование. В пользу этого говорит случай т. Бч6/2, где зафиксирована ортогональная система напряжений (см. Приложение). Поворот векторов смещений в положение горизонтальной слоистости и повторный расчет ВС дает доскладчатое северо-западное растяжение (см. рис. 5, а).

Крайний к юго-западу участок расположен в верховьях руч. Булкуп (точки 9—12),

где наблюдениями охвачены бортовая зона Гармычанского грабена, заполненного позднеюрскими вулканитами, и палеозойско-раннемезозойский аккреционный блок (рис. 4, а и б). Позднеюрские вулканиты (т. 9), интенсивно деформированные и кливажированные, испытали уже типичное северо-восточное сжатие (рис. 5, б). Такое же сжатие проявлено в пределах палеозойско-раннемезозойского блока (точки 10/2, 12, 11/2). В нем также проявлены более сложные узоры изолиний вероятности осей сжатия и растяжения на ВС (например, т. 10/1), не дающие одного доминирующего напряженного состояния, что можно отнести на счет манифестации сложной тектонической истории палеозойской толщи. В качестве противоречащего основному полю в т. 10/3 фиксируется северо-восточное растяжение, которое позиционируется как послескладчатое. Северо-западное направление оси растяжения, реконструируемое для т. 10/2, оказывается параллельным простиранию пород и оси складчатости. В таком положении оно не индикативно относительно складчатого вращения слоев и может отражать как доскладчатое, так и послескладчатое сдвиговое деформирование.

Завершают характеристику хр. Арга-Тас данные, полученные в среднем течении р. Рассохи, ниже устья руч. Булкуп (точки 14/1, 15/2, 15/3), где были обследованы породы палеозойско-триасового островодужного комплекса, находящиеся вблизи сутурного шва, ограничивающего с юго-запада палеозойский офиолитовый комплекс [Ставский, 1988]. Фиксируется хорошо выраженное сдвиговое деформирование (т. 15/2), а также сочетание сжатия и растяжения (14/1) с типичным северо-восточным направлением первого и северо-западным — второго. В т. 15/3 получена ВС хаотизированного типа, что может отражать как сложную историю деформирования, так и проявление специфических вращательных взаимодействий (см. комментарий в работе [Гончар, 1998]).

Суммируя результаты по Арга-Тасскому блоку и Зырянской впадине, следует отметить подавляющее влияние северо-восточного сжатия и взбросовый тип поля в различных по возрасту и формационной принадлежности породах, ответственного за формирование основной складчатости. Это генеральное направление, перпендикулярное структурам хребта, также соответствует современному напряженному состоянию земной коры в пределах

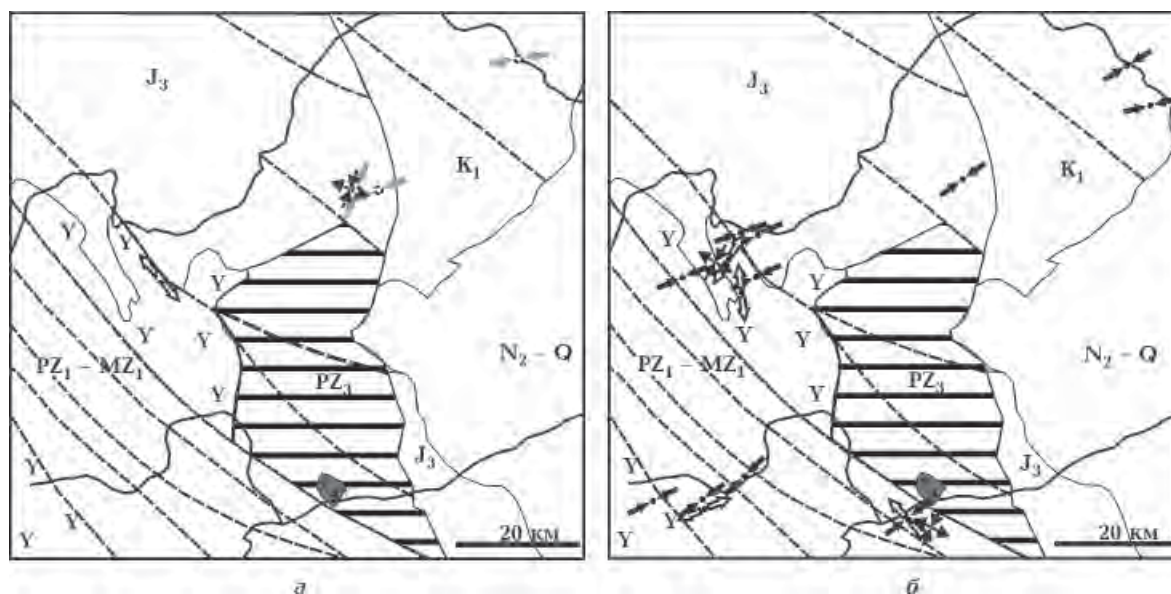


Рис. 5. Реконструированные ориентировки осей напряжений хр. Арга-Тас и Зырянской впадины, следующие из представленных ВС (см. Приложение, рис. П4—П6): *а* — доскладчатые напряженные состояния в обратно повернутых в горизонтальное положение слоях; *б* — условно послескладчатые (горизонтальные оси в наклонных слоях) поля напряжений.

сейсмического пояса Черского [Гончар, 1991] (см. ниже, рис. 11).

«Точечное зондирование» полей напряжений Среднего Верхоянья (по опубликованным данным). Доступными в открытой печати оказались кинематические данные лишь по двум небольшим участкам в пределах Среднего Верхоянья, относящимся к месторождениям серебряных руд Мангазейское и Прогноз (см. рис. 1). Векторы смещений взяты из опубликованных Д. Н. Задорожным кинематических стереограмм [Задорожный, 2002], его определения полей напряжений и рассчитанные здесь ВС соответствуют друг другу, новыми являются выводы относительно доскладчатых полей напряжений.

Месторождение Мангазейское приурочено к восточному склону Западно-Верхоянского хребта и располагается в пределах асимметричной антиклинальной складки, сложенной терригенными породами среднего карбона — ранней перми верхоянского комплекса (рис. 6, *а*) [Задорожный, 2002; Третьяков и др., 2008]. Ядро складки, как следует из разреза, осложнено интрузией позднемезозойских гранитов, роль которой в деформационном процессе пока остается нераскрытой. Из 10 точек наблюдений, представленных в работе [Задорожный, 2002], для обработки выбраны те, которые локализованы в пределах моноклинали крутого восточного крыла складки, так что для них применимо обратное вращение. На построенных

ВС (см. рис. 6, *а*) фиксируется как вероятное соскладчатое поле, ответственное за формирование складчатости (т. 9 с горизонтальным сжатием северо-восточного направления), так и наклонные положения осей, совпадающих с элементами залегания слоев (точки 7 и 10). В качестве вероятных доскладчатых полей в точках 7 и 10 определяются взбросовые с запад-северо-западным и северо-западным направлениями сжатия. Для т. 8 определяется восточно-северо-восточное растяжение, претендующее на роль послескладчатого этапа деформаций. Однако после вращения ситуация преобразуется к субгоризонтальному восточно-северо-восточному сжатию и взбросовому типу деформирования. Такая конфигурация может отображать фактическое соскладчатое поле напряжений, так как получаемое направление сжатия лучше соответствует наблюдаемому региональному северо-северо-восточному простиранию складчатых структур. Поэтому, действительно ли напряженному состоянию т. 8 соответствует послескладчатое растяжение — вопрос открытый.

Месторождение Прогноз расположено в пределах региональной зоны пологих дислокаций Верхоянья [Мезозойская..., 1983] (см. рис. 1). Тем не менее его структура определяется локальной зоной линейной складчатости, зажатой между блоками с пологим залеганием пород (рис. 6, *б*). Кинематическая картина, судя по общей ВС, достаточно однородна и дает

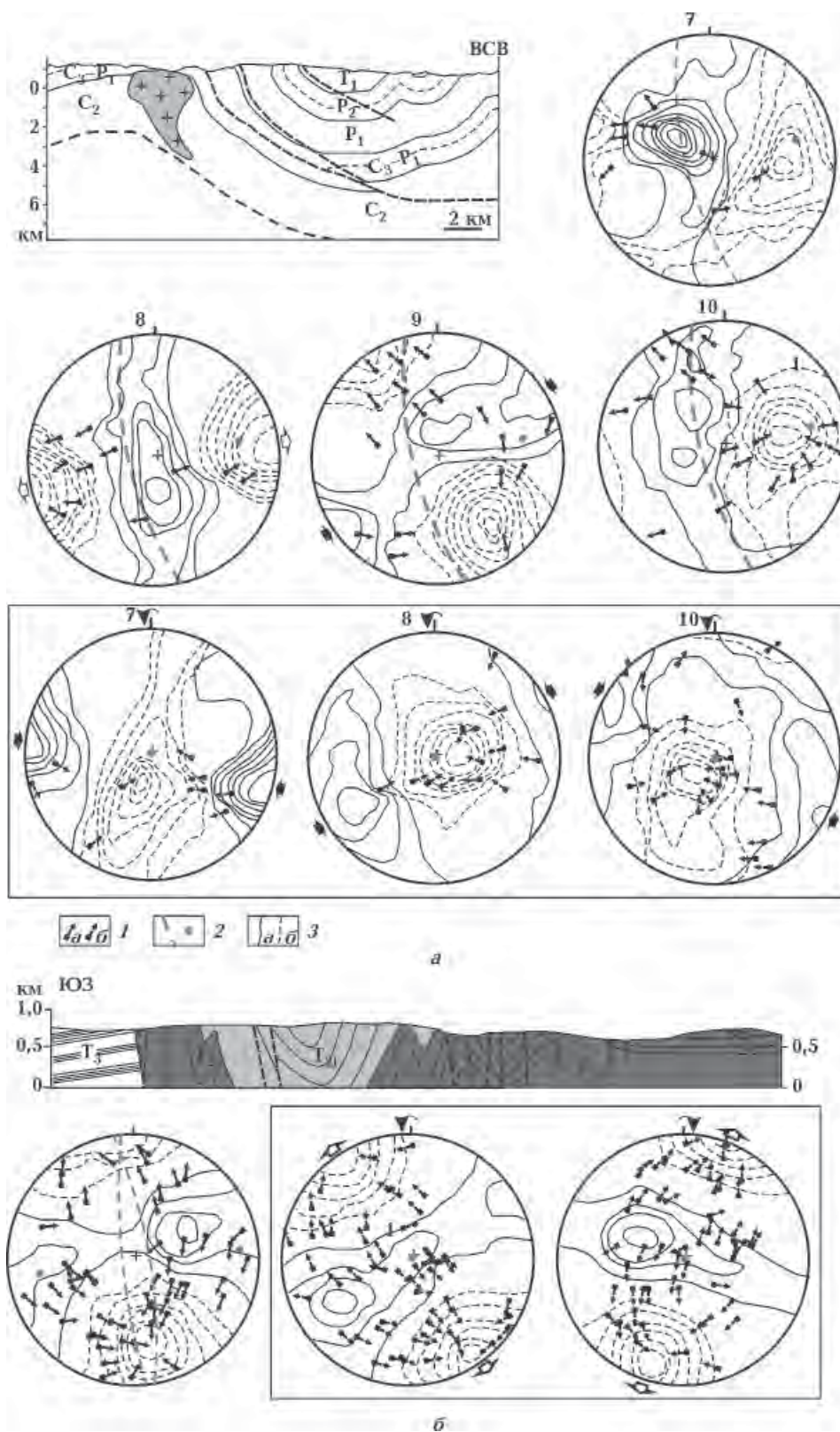
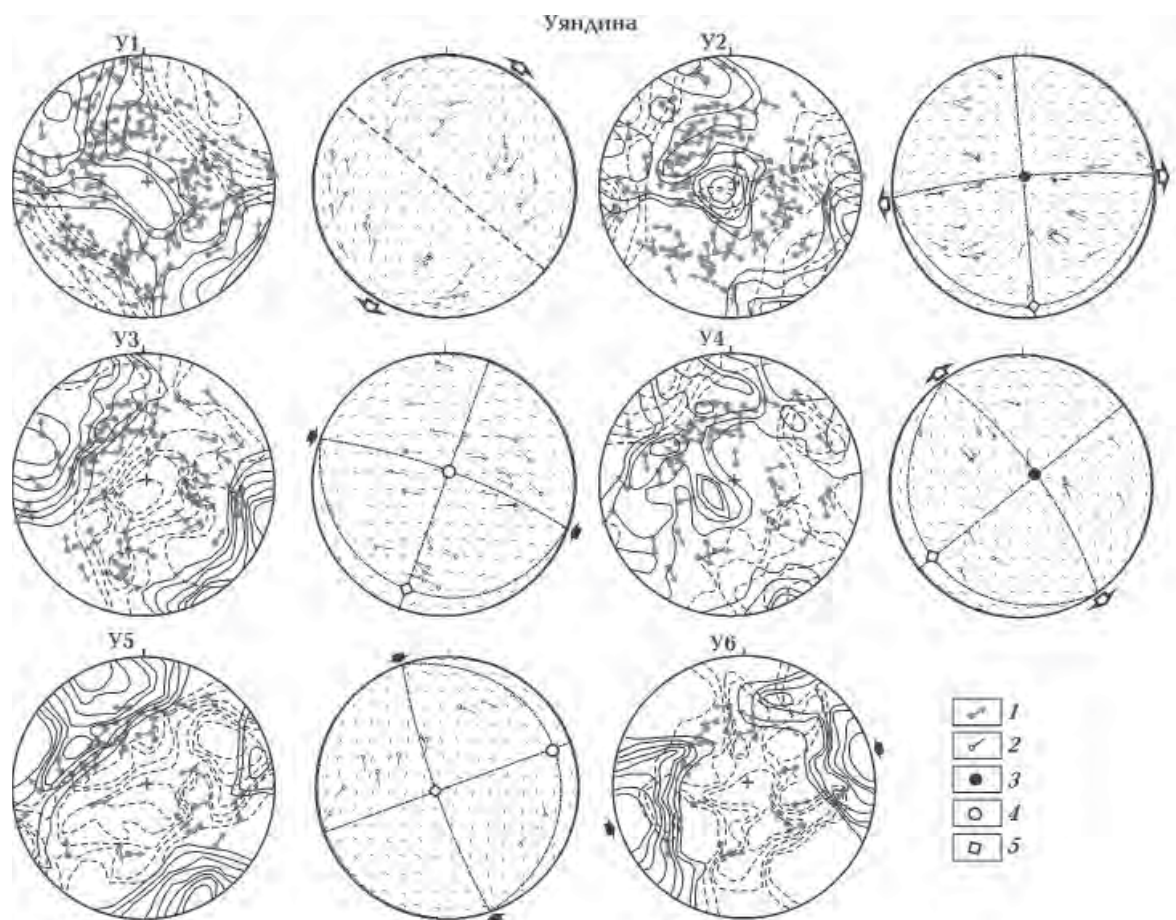


Рис. 6. Разрезы и рассчитанные ВС для Мангазейского (а) и Прогнозного (б) рудных узлов Верхоянской провинции (кинематика смещений по данным [Задорожный, 2002], разрезы по [Третьяков и др., 2008; Задорожный, Тихонова, 2011]); в прямоугольных рамках обратно повернутые ВС: 1 — векторы смещений в конечном (а) и обратно повернутом (б) положении; 2 — плоскость и полюс слоистости; 3 — изолинии вероятности оси сжатия (а) и растяжения (б).

поле напряжений с осью сжатия, наклоненной к северо-востоку под углом $45-55^\circ$, и осью растяжения, полого наклоненной к югу. На стереограмме показаны средние залегания слоев на крыльях складок с субмеридиональным простиранием и крутыми падениями к западу и востоку. В первом варианте вращения повернутым было крыло с западным направлением падения. Как видно, система преобразуется в поле горизонтального растяжения в северо-западном направлении, близкое к одноосному типу. Если смещения возвращать в исходное горизонтальное положение слоев совместно с противоположным крылом восточного падения, то получается близкое состояние одноосного растяжения в северо-северо-восточном направлении (вторая повернутая ВС). Полученные два варианта, в отсутствие уточняющих данных, характеризуют возможные направления растяжения доскладчатого сбросового поля, действовавшего в зоне пологих дислокаций до появления там линейной складчатости.

Кинематическая реконструкция полей напряжений пояса Черского по опубликованным косвенным данным. Представленными

выше чрезвычайно разреженными наблюдениями пришлось бы закончить обзор полей напряжений северо-востока Азии, если бы не дополнительные возможности, заключенные в исследованиях Г. С. Гусева. В монографии [Гусев, 1979] дана сводка реконструированных осей главных нормальных напряжений, полученных методом М. В. Гзовского (сопряженных трещин), с тем лишь дополнением, что в качестве сопряженных фиксировались тектонические трещины с зеркалами скольжений, вдоль которых на обнажении определялись направления смещений. Определения квадрантов сжатия и растяжения производились не по наименьшему углу расхождения, а по направлениям наблюдаемых смещений. Установленные таким способом ориентировки осей можно рассматривать в качестве аналогов механизмов очагов землетрясений, дающих квадранты сжатия и растяжения и разделяющие их нодальные поверхности, к которым также применим метод кинематического анализа [Гущенко, 1979]. Основные районы, по которым в работе [Гусев, 1979] даны статистически представительные характеристики, охватывают преи-



мущественно восток Верхояно-Колымской области, а также некоторые районы на западе Верхоянья. Ниже представлена обработка этих материалов по Полоусненскому синклинорию, Уяндинскому блоку, Илин-Тасскому антиклинорию и Эрикитскому блоку в пределах пояса Черского, а также Алазейскому поднятию, расположенному в его тылу (см. рис. 1).

Методически построения выглядели так: по приведенным ориентировкам «осей главных напряжений» восстанавливались пары сопряженных виртуальных кинематических векторов. Все полученные векторы объединялись для одного района и для них рассчитывались ВС. В соответствии со стандартной методикой [Гинтов, 2005] для каждой ВС подбирались модельные поля и из общей совокупности векторов смещений удалялись те, которые наилучшим образом (в пределах допустимой ошибки в

25°) ему отвечали. Действие полученных полей условно распространяется на всю территорию исследованных районов, границы которых, впрочем, также точно не определены. Иерархия определяемых напряжений устанавливалась по степени их представленности в разломных смещениях, что, естественно, не отражает их соотношений во времени. Поэтапно шаги реконструкции показаны для Уяндинского и Алазейского блоков (рис. 7, а и б).

Уяндинский блок уникален тем, что значительную площадь его составляют выходы относимого к офиолитам базит-гипербазитового комплекса и зонально метаморфизованных терригенно-карбонатных пород палеозоя [Третьяков, 1996; Оксман, 2000]. Базит-гипербазитовый комплекс залегает в виде достаточно мощного покрова (рис. 8, а). Доминирующим, исходя из первоначально рас-

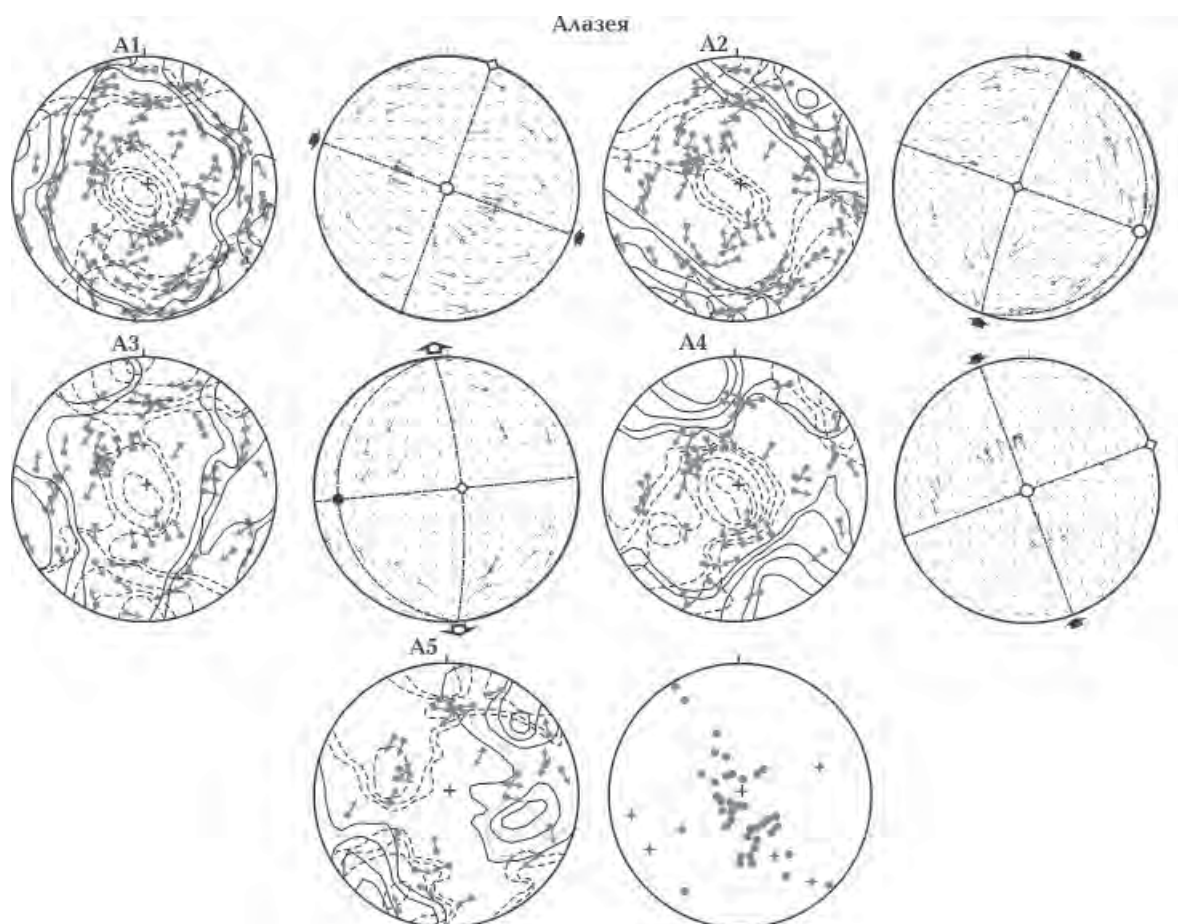


Рис. 7. Вероятностные и модельные стереограммы напряженных состояний, отражающие различные по статистической выраженности этапы деформаций Уяндинского блока и Кыллахского выступа Алазейского поднятия (на основе переинтерпретации данных [Гусев, 1979]); последняя стереограмма на рис. 7, б показывает распределение полюсов напластования (кружки) и сланцеватости (звездочки) в пределах Кыллахского выступа (по данным [Гусев, 1979; Тектоника..., 1981]): 1—2 — виртуальные вектора смещений на ВС (1) и модельных стереограммах (2); 3—5 — выходы на сферу осей сжатия (3), растяжения (4) и промежуточной (5).

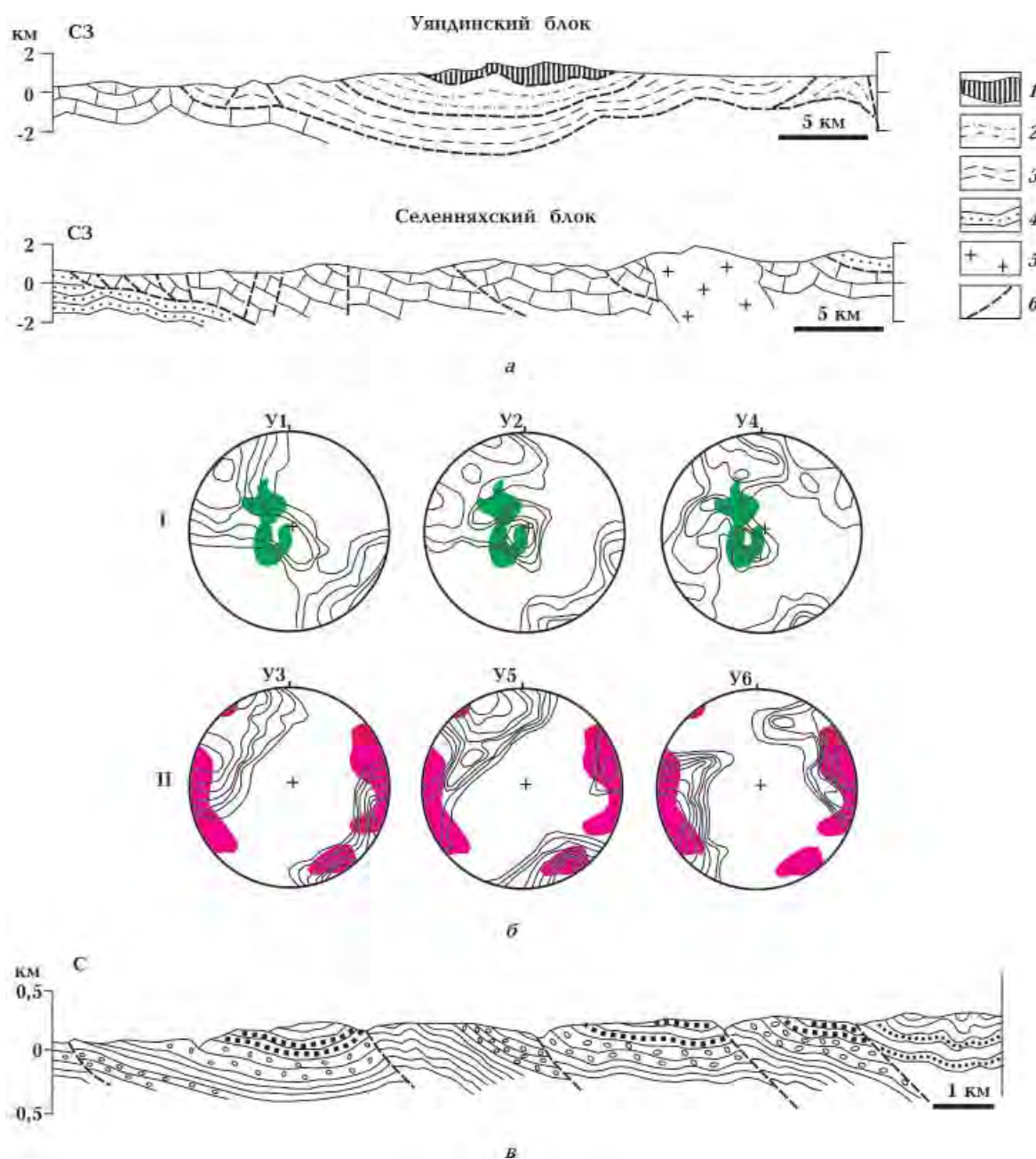


Рис. 8. Разрезы, показывающие принципиальные черты строения Уяндинского блока, соседнего с ним с запада Селенянского блока [Третьяков, 1996] (а); 1 — габбро-амфиболиты и метагипербазиты, 2 — кристаллические сланцы, 3 — нижне-среднепалеозойские породы в зеленосланцевой фации, 4 — юрские терригенные комплексы, 5 — раннемеловые граниты, 6 — разломы; сопоставление изолиний вероятности оси сжатия этапов деформаций Уяндинского блока с максимумами плотности (затемнено) полюсов сланцеватости (I) этого же блока [Третьяков, 1996] и кливажа соседнего Селенянского блока (II) [Оксман, 2000] (б) и разрез Алазейского поднятия [Ставский, 1981] (в).

считанной ВС (У1), оказывается поле горизонтального растяжения в северо-восточном направлении, характеризующееся одноосным типом напряженного состояния. Рассчитанная после удаления соответствующей ему совокупности смещений стереограмма У2 также приводит к определению сбросового режима де-

формирования с субширотным направлением растяжения (ось сжатия вертикальна). Только после третьего цикла выделено поле взбросового типа с северо-западным горизонтальным сжатием, вид напряженного состояния которого близок к одноосному. С помощью ВС У4 устанавливаются условия северо-восточного

горизонтального растяжения. Следующим за ним по значимости оказывается режим горизонтального сжатия в северо-северо-восточном направлении. Замыкает серию стереограмма У6, на которой широкий максимум оси сжатия занимает горизонтальное положение и ориентирован в северо-восточных румбах. Для оси растяжения определяются наклонные до вертикальных положения, что указывает на «остаточный» взбросовый режим северо-восточного сжатия. На этом расшифровка была остановлена.

Как видно, в пределах Уяндинского блока в процессе его тектонической эволюции преобладали условия растяжения. В соответствии с этим заключением находятся опубликованные структурные данные [Третьяков, 1996; Оксман, 2000], согласно которым в парагенезис блока входят все основные элементы тектоники пластического растяжения: пологая сланцеватость (также метаморфическая полосчатость и кливаж), асимметричные и лежачие складки, полойные пластичные срывы (зоны течения), связанные с ними покровы [Continental..., 1987; Mallavielle, 1993]. Авторы не выделяют сбросы, однако их присутствие документируется «развернутыми» здесь данными Г. С. Гусева. Какое из выделенных полей сбросового типа соотносится со структурами пластического растяжения, можно выяснить, сравнивая полученные максимумы осей со структурными диаграммами. В работе [Третьяков, 1996] приведены стереограммы полюсов сланцеватости полиметаморфитов Уяндинского блока; их максимумы сопоставлялись с изолиниями вероятности осей сжатия для разных этапов (рис. 8, б, I). Наилучшее совпадение получается с этапом растяжения У4, ось растяжения у которого ориентирована в северо-западном направлении (см. рис. 7, а). Основываясь на этом результате, данный этап деформации можно отнести ко времени формирования зонального метаморфического комплекса и покрова офиолитов.

Согласно построениям В.С.Оксмана [Оксман, 2000], этапы формирования структур пластического растяжения можно соотносить как с доколлизийным «расслоением» коры в гипотетическом океаническом бассейне, так и с начальной стадией конвергенции в пределах внутренних структур пояса Черского (ранняя — средняя юра), когда произошла обдукция офиолитов. Некоторыми исследователями офиолитовая природа базит-гипербазитового комплекса Уяндинского блока оспаривается

и выдвигается гипотеза рифтогенного происхождения [Трунилина и др., 2009]. Полученные характеристики полей напряжений лучше соответствуют, как кажется, рифтогенной гипотезе, однако также не противоречат механизму деформирования в режиме вертикальной аккреции, когда реализуются условия растяжения [Гончар, 2008]. Два других этапа растяжения — в северо-восточном и субширотном направлениях следует связывать, по-видимому, с гораздо более поздними событиями, скорее всего — меловым и весьма вероятным позднекайнозойским (вплоть до современного) рифтогенезом [Патык-Кара, Гришин, 1972; Артемов, Иванов, 1988; Парфенов и др., 2001]. Действие двух взбросовых полей с северо-западным и северо-северо-западным направлениями сжатия очевидно следует соотносить с развитием основной мезозойской складчатости и взбросо-надвиговых перемещений на рубеже поздней юры и раннего мела, в ходе которой были сжаты и тектонически совмещены палеозойские блоки Уяндино-Ясачненской дуги и осадочные толщи преддугового Полоусненского прогиба [Парфенов и др., 1993; Оксман, 2000]. Это подтверждается сопоставлением изолиний вероятности осей сжатия с максимумами полюсов кливажа в складчатом обрамлении Уяндинского и соседнего с ним Селенняхского блока (рис. 8, Б, II).

Основание **Алазейского поднятия** сложено частично метаморфизованными вулканогенно-осадочными породами среднего палеозоя — юры и помещается в состав комплексного Алазейско-Олойского островодужного террейна [Оксман, 2000; Соколов, 2010]. На деформированное основание несогласно наложены поля позднеюрских и меловых вулканитов, имеющих син- и посторогенное (рифтогенное) происхождение [Ставский, 1981; Чехов, 2000]. В структурном отношении островодужный комплекс отличается довольно слабо выраженной неполной складчатостью, пологими углами падения слоев (рис. 8, в), при этом в нем интенсивно развиты разломы и тектоническое брекчирование пород [Чехов, 2000]. Характер реконструированных полей напряжений в целом противоположен тому, который получен для Уяндинского блока — здесь резко преобладают обстановки взбросового и взбросо-сдвигового деформирования (см. рис. 7, б). На первом месте по выраженности находится взбросовое поле западно-северо-западного сжатия, за ним следует взбросо-сдвиговая обстановка (А2), характеризующаяся северо-северо-восточным

сжатием. Стереограмма АЗ дает растяжение в субмеридиональном (северо-северо-западном) направлении в условиях сбросо-сдвигового режима, весьма близкого к сдвиговому. Далее определяется северо-северо-западное направление сжимающих напряжений и чисто взбросовый режим. Финальная ВС А5 также дает преимущественно взбросовый тренд — пологие максимумы оси сжатия.

Таким образом, хотя в структуре деформированного основания преобладают пологие залегания пород, данные реконструкции указывают на то, что отложения островодужного комплекса деформировались в условиях неоднократного горизонтального сжатия, по-видимому, в обстановке аккреционного клина. На основании распределения полюсов слоистости Алазейского поднятия (см. рис. 7, б, последняя стереограмма) определяется соответствующее северо-северо-западное направление сжатия этапа А4, ему же отвечают находящиеся в тренде полюса сланцеватости. Здесь, как и в случае Уяндинского блока, соскладчатое поле оказывается далеко не на первом месте по степени выраженности в кинематике разломных смещений. Доминирующие взбросо-сдвиговые поля А1 и А2, по-видимому, следует трактовать как послескладчатые, которые, впрочем, могли частично усложнить складчатую структуру. Единственное поле незначительного растяжения А3 (сбросо-сдвиговое) следует предварительно отнести на счет посторогенного (рифтогенного?) события в позднем мезозое, сопровождавшегося бимодальным вулканизмом [Ставский, 1981].

Результаты реконструкции по остальным площадям исследований Г. С. Гусева представлены в виде итоговых стереограмм, ранжированных по статистической представительности (рис. 9). В центральной части **хр. Полоусный** одноименного синклиория, сложенного преимущественно раннесреднеюрским терригенными толщами (бывший преддуговой прогиб), доминирует взбросо-сдвиговое поле с северо-северо-западным направлением сжатия, перпендикулярным простиранию основных складчатых структур (см. рис. 1). Соответственно, этот этап следует рассматривать как соскладчатый (J3—K1). Следующие за ним одноосное северо-восточное сжатие и сбросо-сдвиговое северо-северо-восточное растяжение, очевидно послескладчатые. Взбросовое поле может корреспондироваться с аналогичной слабо-выраженной обстановкой У6 Уяндинского блока (см. рис. 7, а). В пределах **хр. Илин-Тас**

(одноименного антиклиория, сложенного позднеюрскими вулканогенно-терригенными отложениями) доминирующим также оказывается взбросовое поле с северо-восточной ориентировкой оси сжатия, ортогональной простиранию складчатости. Следующим является северо-северо-восточное сжатие, соответствующее доминирующим полям деформаций в соседних к северо-западу Уяндинском и Полоусненском районах. Замыкает группу этапов **хр. Илин-Тас** также сбросовая обстановка деформирования с северо-восточной ориентировкой растяжения. В пределах небольшого участка **Эрикит**, расположенного на стыке структур Уяндино-Ясачненской дуги с Иньяли-Дебинским синклиорием (преддуговым прогибом), наиболее выраженным оказывается сдвиговое деформирование с северо-восточной ориентировкой оси сжатия. Следующей по представительности является обстановка субмеридионального (с небольшим отклонением к западу) сжатия и пологоориентированным субширотным растяжением (взбросо-сдвиговый тип, близкий к сдвиговому). Оба поля соответствуют положению рассматриваемого участка в зоне регионального Дарпирского шва со взбросо-сдвиговой кинематикой [Гусев, 1979]. Как и в трех предыдущих, в «арьергарде» действовавших полей напряжений участка Эрикит находится горизонтальное растяжение в субмеридиональном (отклонение к востоку) и северо-восточном направлениях.

Таким образом, эксперимент с привлечением в качестве кинематических индикаторов косвенных данных работы [Гусев, 1979], по-видимому, себя оправдал. Восстановленные с его помощью характеристики полей напряжений коллизионного пояса Черского не входят в противоречие с основными деформационными структурами: как правило, устанавливается этап, соответствующий доминирующему в пределах рассматриваемого района складчатонадвиговому (или складчато-покровному) парагенезису. Следовательно, доверия заслуживают и другие реконструированные обстановки деформирования, относящиеся к послескладчатой эволюции. Косвенным критерием их действительности может быть площадная корреляция направлений и видов напряженного состояния. При этом, необходимо отдавать отчет, что это — приближенная (квази) кинематическая реконструкция, основанная на площадном осреднении данных, поэтому она уступает по точности и достоверности полному кинематическому анализу.

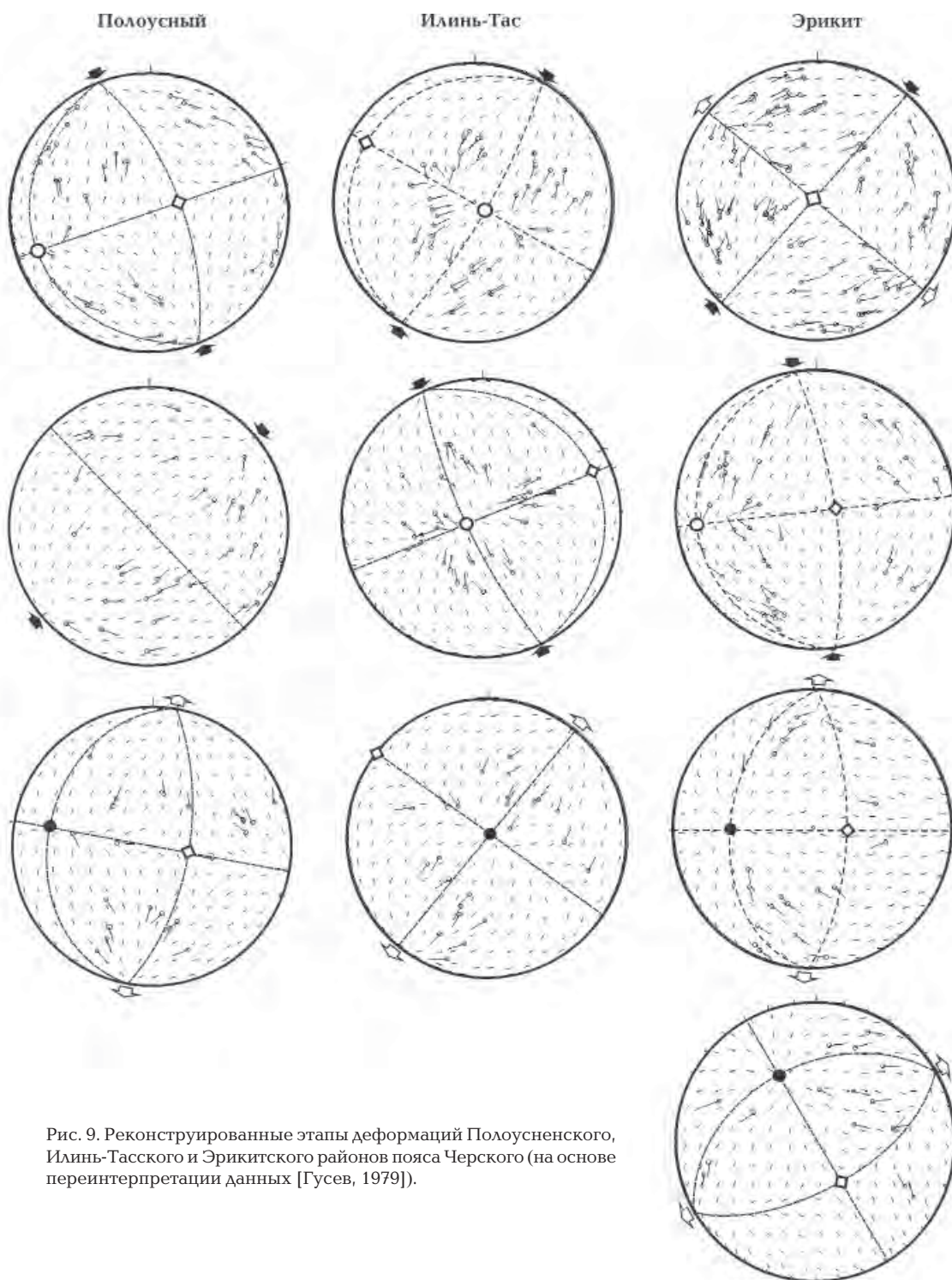


Рис. 9. Реконструированные этапы деформаций Полоусненского, Илнй-Тасского и Эриkitского районов пояса Черского (на основе переинтерпретации данных [Гусев, 1979]).

Обсуждение: поля напряжений, механизмы формирования структур и геодинамика. К настоящему времени усилиями многих геологов выработано достаточно твердое убеждение в коллизионной природе складчатых структур Верхояно-Колымской области, прорывающих их поясах гранитов и связанных с ними ме-

сторождений металлов [Парфенов и др., 1993; Оксман, 2000; Фридовский, 2002; Митрофанов, 2005]. С утверждением коллизионного генезиса сочетается примат «парадигмы» складчато-надвигового деформирования в условиях сжатия [Оксман, 2000; Фридовский, 2002 и др.]. Сомневаться в монополии складчато-надвигового

парагенезиса заставляет сама парадоксальная природа синколлизионного деформирования, допускающая растяжение орогена [Continental..., 1987; Mallavielle, 1993; Паталаха, Гончар, 1999]. Не меньше оснований предполагать растяжение складчатой области дает модель аккреции, учитывающая реологию поднадвига аккреционного клина [Гончар, 2008].

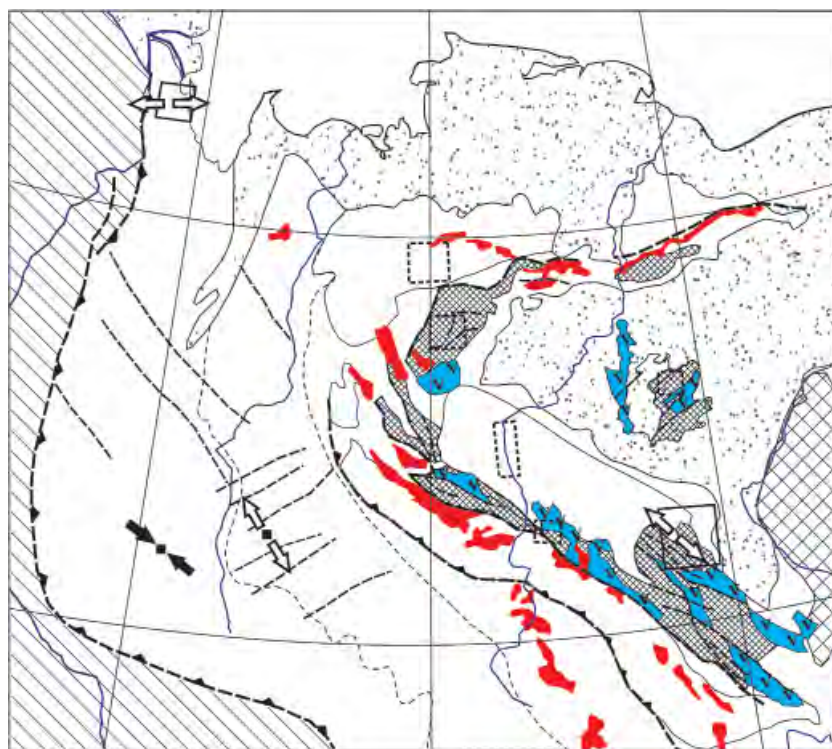
С помощью реконструируемых полей напряжений устанавливаются и уточняются механизмы формирования структур, вместе с этим может быть получена существенная «подсказка» в определении геодинамической обстановки. Большинство приводимых уточнений касаются как раз проявлений в складчатых толщах условий растяжения — пластического и хрупкого. Причина этого связана с методологическими недостатками использовавшегося предшественниками структурного анализа, который «не видит» тектонику растяжения.

Реконструкция выявила этапность тектонического процесса: для различных участков определяются наложения полей, отличающихся как по ориентировкам осей, так и по типу деформационной обстановки. В первую очередь возникает проблема их возрастной привязки. Там, где это позволяла структурная обстановка — моноклиналиное залегание пород и ортогональность системы осей напряжений с напластованием, фиксировались вероятные доскладчатые поля. В отсутствие таких данных прежде всего выделялись соскладчатые поля, корреспондирующие с наблюдаемой в пределах изученных участков основной складчатой структурой. Как при детальной кинематической реконструкции «от точки к точке», так и в случае обобщенного по площади анализа, такие обстановки хорошо видны и уверенно прослеживаются в разновозрастных образованиях. К послескладчатым наиболее уверенно можно относить поля напряжений сбросового и сдвигового типа, реконструируемые в складчатых толщах, а также обстановки горизонтального сжатия, направленного дискордантно по отношению к простирацию основной складчатости. На основании указанных простых принципов составлены схемы доскладчатых и послескладчатых полей напряжений в мезозоидах Северо-Востока Азии (рис. 10, а и б).

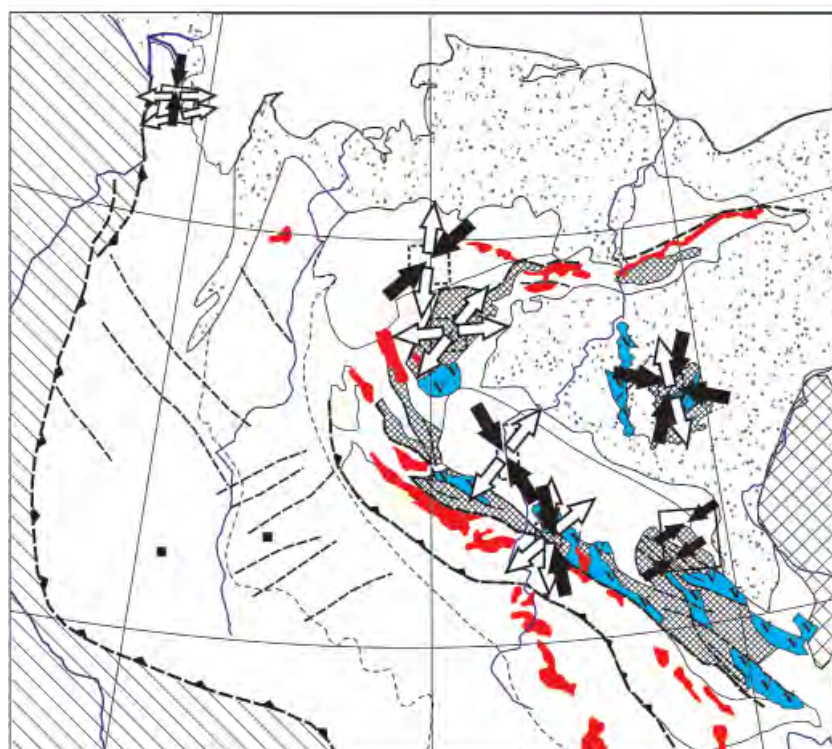
Доскладчатые поля. Растяжение в пределах Северного Хараулаха указывает на вероятный доскладчатый рифтогенез. Независимым доказательством раннего (на рубеже перми и триаса) рифтинга является свидетельство пострифтового погружения северо-восточной окраины

Сибирской платформы в раннем триасе [Гончар, 2013б]. Доскладчатое северо-западное сжатие фиксируется в пределах восточного склона Западно-Верхоянского антиклинория (месторождение Мангазея). Единичные свидетельства в пользу вероятного доскладчатого растяжения имеются к востоку — в Яно-Индибирской полосе пологих дислокаций (месторождение Прогноз) и в позднеюрском вулканогенно-осадочном комплексе хр. Аргатас. Это не обязательно должен быть рифтогенез - в случае зон пологих дислокаций Верхоянья растяжение может отражать динамику реализации гравитационной неустойчивости, или, другими словами, входит в парагенезис нескрытых комплексов метаморфического ядра [Гончар, 2004].

Поля напряжений, ответственные за формирование складчатости. В пределах Уяндинского блока, где развиты пологодислоцированные метаморфические толщи с офиолитами, проявлены неоднократные складкообразовательные деформации [Оксман, 2000]. Анализ соотношений полюсов сланцеватости и кливажа на сфере с изолиниями вероятности осей сжатия позволил идентифицировать несколько полей, ответственных за формирование складчатых структур (см. рис. 8). В качестве наиболее ранней и основной для Уяндинского блока определяется деформационная обстановка субвертикального сжатия и субгоризонтального растяжения в северо-западном направлении, с которой соотносятся полюса пологой сланцеватости и метаморфической полосчатости (этап У4 на рис. 8, б, I). Положения полюсов кливажа соседнего Селенняхского блока, имеющего крутые наклоны, на стереограммах соотносятся с выделяемыми для Уяндинского блока северо-западным и субширотным сжатием (этапы У3, У5, У6, рис. 8, б, II). Все они могут быть признаны как соскладчатые в региональном плане, но для Уяндинского блока это, скорее, послескладчатые поля. Растяжение, реконструированное в полиметаморфитах и базит-гипербазитах Уяндинского блока, сочетается с развитым в нем почти полным парагенезисом тектоники растяжения [Continental..., 1987; Mallavielle, 1993]: пологой сланцеватостью (также метаморфической полосчатостью и кливажем), асимметричными и лежащими складками, послойными зонами течения [Третьяков, 1996; Оксман, 2000]. Оставаясь на позиции традиционного противопоставления дивергентного и конвергентного тектогенеза, полученное поле следует трактовать как ука-



a



b

Рис. 10. До- и послескладчатые (а и б) поля напряжений мезозойд северо-востока Азии. Условные обозначения см. на рис. 1.

знание на рифтогенное происхождение пологих структур Уяндинского блока. При таком выборе проблематичным становится объяснение аллохтонности базит-гипербазитового комплекса, залегающего на метавулканогенно-осадочных породах, притом что условия метаморфизма для них одинаковы [Оксман, 2000]. Противоречие устраняется в рамках модели аккреции [Гончар, 2008], устанавливающей, что напряженное состояние аккреционного орогена зависит от реологического выбора в поднадвиге на границе фундамент/чехол. В случае, когда предел сдвиговой прочности на границе не достигнут, процесс развивается по покровно-субдукционному сценарию, предусматривающему стабильную или периодическую субдукцию чехла и *растяжение* орогена.

В зоне линейной складчатости Северного Хараулаха выявляется пересечение северо-западного, субширотного и северо-восточного направлений горизонтального сжатия (см. рис. 3, в). Здесь надо отметить, что область северного продолжения Хараулахского хребта стоит особняком в структуре мезозойд Северо-Востока Азии, будучи наиболее удаленной от «центра» тектонических событий — коллизионного пояса Черского (см. рис. 1). Характеризующие его складки, уходя на север, изменяют простирание с северо-восточного на субмеридиональное и далее на северо-западное, описывая таким образом дугу вдоль выступа окраины Сибирской платформы. Учитывая это, наложение разнонаправленных сжимающих усилий может отражать последовательную динамику формирования этой дуги. Тогда строго складчатые могут быть признаны направления, отвечающие ориентировке складчатых структур в разных доменах: северо-западное сжатие будет соответствовать складчатости в южной части Сев. Хараулаха, субширотное — в центральной, северо-восточное — в северной. Очевидно, коллизия в поясе Черского не могла влиять непосредственно на деформационные события в пределах Северного Хараулаха: уже в нижнем течении Яны, в пределах хр. Кулар, отсутствуют явные признаки наложенного северо-западного коллизионного сжатия, там проявлены в классической форме структуры комплекса метаморфического ядра (пластического растяжения, сопряженного со сжатием по периферии) и синкинематичный магматический диапиризм (см. [Парфенов и др., 1989]). Аналогично вопрос происхождения поля сжатия на западе Северного Хараулаха не следует решать отдельно от складчато-покровных дви-

жений в соседней с востока тиксинской зоне, где складчатые выступают обстановки наклонного сжатия. Связь поля напряжений Северного Хараулаха с особенностями его асимметричного тектонического строения (см. рис. 2, 3) дает основание говорить об адвективном механизме формирования структур типа комплекса метаморфического ядра [Гончар, 1998; 2004].

В целом, исследованию синкинематического внедрения интрузий, их влияния на процесс формирования структурной и метаморфической зональности в мезозойдах Северо-Востока Азии уделяется явно недостаточно внимания. В работе [Кошкарев, Кузнецов, 1993] был выполнен краткий анализ прямых и косвенных признаков купольного тектогенеза в Верхояно-Чукотской области, выводом из него явилось отнесение подавляющей части территории к производным магматической адвекции. По-сути, это антитезис в отношении панколлизионной идеи. Данная оценка может оказаться преувеличенной, но качественно масштаб задачи обозначен совершенно верно: невозможно рассматривать механизмы формирования деформационных структур в отрыве от столь мощно проявленного гранитоидного магматизма.

Для хр. Арга-Тас и соседней Зырянской впадины устанавливаются однотипные доминирующие деформационные обстановки в виде северо-восточного горизонтального сжатия (см. рис. 5, б). С учетом северо-западного простирания складчато-надвиговых структур эти обстановки должны быть определены как ответственные за формирование складчатости, хотя по формальному признаку — горизонтальные оси напряжений при наклонном залегании слоев — могут классифицироваться и как послескладчатые. Строго складчатый характер поля северо-восточного сжатия выявляется в структурах Зырянского прогиба и прибортовой части антиклинория Илин-Тас, где посредством процедуры обратного вращения восстанавливается то же (формально доскладчатое) северо-восточное сжатие (см. рис. 5, а). Палеозойский комплекс, имеющий длительную и потенциально сложную тектоническую историю [Ставский, 1988], в этом отношении остается существенно недоисследованным (как, впрочем, и в плане структуры [Оксман, 2000]), для него определение северо-восточного сжатия как послескладчатого может иметь и неформальное значение.

При сравнении складчатых полей напря-

жений Северного Хараулаха, с одной стороны, хр. Арга-Тас и Зырянской впадины, с другой, можно отчетливо видеть противоположный характер их проявления: неоднородный — в первом случае и однородный — во втором. Понятно, что причина различий связана с действием разных механизмов складкообразовательных движений (адвективного — в первом случае, и конвергентного — во втором).

Послескладчатые поля. К послескладчатому на севере Хараулахского хребта относится субширотное растяжение, а также северо-северо-восточное сжатие, локализованное в крайней северной части (см. рис. 3, в). В поясе Черского проявлены как взбросовые, так и сбросовые послескладчатые поля, но последние, по-видимому, преобладают (см. рис. 10, б). На пространствах внутренних частей пояса от Уяндины до Эриикитского блока направления как осей растяжения, так и сжатия в общем согласованы: растяжение — от субширотного до северо-восточного, сжатие — от субмеридионального до северо-северо-восточного. В пределах Полоусного растяжение изменяется на субмеридиональное, сжатие становится северо-восточным. Нельзя не отметить в этом определенное следование простираанию основных структур, формирующих «колымскую петлю»: наложенное сжатие грубо им следует, растяжение располагается близко к ортогональному. В пределах Алазейского поднятия, напротив, доминирует сжатие (в северо-северо-восточном и западно-северо-западном направлениях), субмеридиональное растяжение проявляется в обстановке сбросо-сдвигового деформирования, близкого к сдвиговому (см. рис. 9). Говорит ли это о том, что растяжение коры затухает к востоку от пояса Черского — покажут дальнейшие исследования.

Связь с современным напряженным состоянием. Уже достаточно давно был выполнен анализ современного поля напряжений Северо-Востока Азии по сейсмологическим данным [Гончар, 1991], который показал проявление взбросо-сдвигового (близкого к сдвиговому) режима деформирования в пределах основной части пояса Черского с северо-восточной ориентацией оси сжатия, и субширотного растяжения — в области Северного Хараулаха, дельты Лены и прилегающей акватории моря Лаптевых. Повторная компьютерная обработка решений механизмов очагов уточняет реконструкцию и дает ВС, весьма схожие с теми, которые получены в пределах хребтов Северный Хараулах и Арга-Тас (рис. 11). Отсюда следует допущение о

том, что сейсмотектоническое деформирование развивается унаследованно по отношению к неотектоническому процессу. Геологическими исследованиями в пределах Илинь-Тасского антиклинория и Зырянской впадины [Гайдук и др., 1990] доказывается весьма молодой, а именно постмиоценовый, возраст складчатости в этой части мезозойд, что опровергает более традиционную точку зрения о завершающем поздемезозойском складчатом деформировании. Нами основное поле северо-восточного — юго-западного сжатия в пределах хр. Арга-Тас и Зырянской впадины определяется и как посткладчатое и как ответственное за складчатую деформацию (см. выше). Совместно с сейсмологическими данными это также говорит в пользу сохранения этой деформационной обстановки с позднего миоцена.

Менее уверенно, из-за недостатка решений механизмов очагов, реконструируется близкое к субширотному современное растяжение в промежуточной области хр. Полоусного [Гончар, 1991]. По данным квазикинематической реконструкции в центральной части Полоусного действовало субмеридиональное (чуть к востоку) направление растяжения — косое по отношению к северо-западному простираанию развитых там грабенообразных впадин [Патык-Кара, Гришин, 1972; Артемов, Иванов, 1988]. Реконструируемые южнее в пределах пояса Черского преобладающие северо-восточные направления растяжения лучше подходят под тренд неотектонических впадин. Недостаток решений механизмов очагов землетрясений оставляет открытым вопрос о соответствии современного и реконструируемых посткладчатых полей напряжений в этой части территории.

Говоря о роли позднего растяжения в тектонике мезозойд северо-востока Азии, в первую очередь следует остановиться на противоречиях так называемого «Момского рифта». Геоморфологически данная мегаструктура видится вполне обоснованной. Также обоснованным кажется прослеживание рифтовых структур от спредингового хр. Гаккеля через шельф моря Лаптевых в Северное Верхоянье и далее в пределы пояса Черского (см. рис. 11) [Патык-Кара, Гришин, 1972; Грачев, 1973; Наймарк, 1980; Артемов, Иванов, 1988]. Реконструкция полей напряжений подтверждает активно действующее растяжение в области сочленения структур Северного Верхоянья и рифтовых впадин моря Лаптевых, но для южной части пояса впадин дает на уровне коры обстановку взбросо-сдвигового деформирования. Обще-

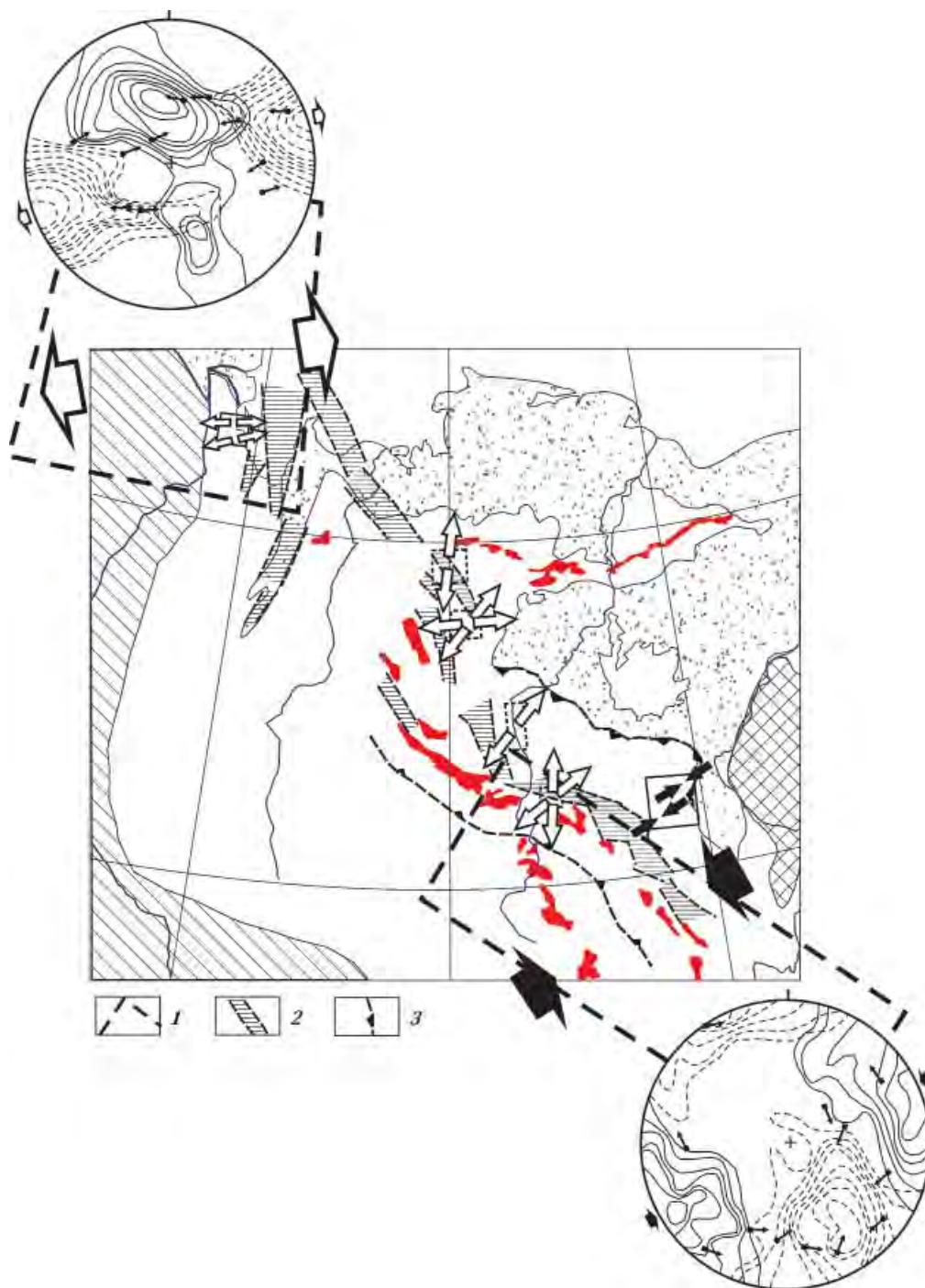


Рис. 11. Современное напряженное состояние коры в отдельных сегментах сейсмического пояса Черского с элементами неотектоники; показаны реконструированные поля напряжений, сопоставляемые с новейшим тектогенезом: 1 — границы объемов коры, на которые распространяется реконструкция поля напряжений [Гончар, 1991]; 2 — неотектонические впадины [Артемов, Иванов, 1988]; 3 — активные в кайнозое надвиги (с учетом данных [Архипов и др., 1981; Гайдук и др., 1990]).

му растяжению также противоречат выводы о новейшем (с позднего миоцена) этапе сжатия с формированием складчатости в пределах хр. Ильинь-Тас и его северо-восточных предгорий [Гайдук и др., 1990], что подтверждает и приведенная кинематическая реконструкция.

Выход из противоречивой ситуации видится в предположении инверсий деформационных обстановок вдоль предполагаемой границы между Северо-Американской и Евразийской литосферными плитами [Парфенов и др., 2001]. Данная глобальная гипотеза не

исчерпывает возможные сценарии неотектонического развития пояса Черского, особенно если углубиться в механику компрессионного орогена (см. [Паталаха и др., 2003]). Возможен вариант одновременного функционирования обстановок сжатия и растяжения — на разных реологических уровнях. В этой связи обращает на себя внимание внутреннее положение неотектонических впадин пояса Черского по отношению к основным надвиговым поясам (см. рис. 11): Зырянскому — на северо-востоке [Гайдук и др., 1990] и Адыча-Тарынскому — на юго-западе (активизация последнего в кайнозое отмечается в работе [Архипов и др., 1981]). Вергентность надвигов и складчатости в обоих поясах противоположная и направлена в стороны от гипсометрически приподнятой оси пояса. Напрашивается предположение о гравитационной природе растяжения в осевой части пояса Черского, трансформирующегося в сжатие на периферии поднятия. Данный механизм известен как «гравитационный коллапс орогена» [Continental..., 1987; Mallavielle, 1993]. Таким образом, «рифтогенез» пояса Черского может быть явлением второго порядка в масштабе орогена, само появление которого вызвано стабильной в позднем кайнозое конвергентной обстановкой. Однако первоначальный (и более очевидный) этап синорогенного растяжения был обусловлен инициальным орогенезом вследствие раннемеловой коллизии, сопровождавшейся утолщением континентальной литосферы, ее частичным плавлением и, как следствие, масштабным гранитоидным магматизмом [Парфенов и др., 1993; Оксман, 2000]. Гранитные плутоны внедрялись в уже деформированные, консолидированные вулканогенно-осадочные толщи аккреционного клина во фронте Колымо-Омолонского супертеррейна в условиях растяжения, о чем говорят крутые, рвущие контакты гранитоидных тел с вмещающими породами.

Заключение. Полученные кинематическим методом данные о полях напряжений мезозойд Северо-Востока Азии расширяют представления о механизмах и истории формирования столь значительной по масштабам и геодинамической позиции области Земли. Основные выводы следующие.

1. В Северном Верхоянье обстановки деформирования являются четко дифференцированы относительно структурной зональности Хараулахского хребта: на западе доминирует горизонтальное сжатие, ответственное за формирование складчато-надвигового пояса;

в восточной зоне, где складчатость спорадическая, часто слабая или отсутствует вовсе, поле напряжений проявлено либо наклонным сжатием, либо горизонтальным растяжением. Эта закономерность уже отмечалась и привлекалась в качестве аргумента в пользу адвекционной модели развития структур.

2. Выстраивание относительных временных последовательностей полей напряжений показало, что характерным может быть доскладчатое растяжение верхоянской серии (Северный Хараулах, Среднее Верхоянье).

3. Формирование складчато-покровного парагенезиса Уяндинского метаморфического блока протекало в условиях пластического растяжения, с осью растяжения, ориентированной в северо-западном направлении; соответствующей геодинамической обстановкой может быть аккреция, сопровождаемая субдукцией чехла.

4. В Арга-Тасском блоке и Зырянской впадине выявлено подавляющее влияние северо-восточного сжатия и взбросовый тип поля в различных по возрасту и формационной принадлежности породах.

5. Реконструируемые в Сев. Хараулахе и в юго-восточной части пояса Черского (Арга-Тас) деформационные обстановки широтного растяжения и северо-восточного сжатия совпадают с определяемым по сейсмологическим данным современным напряженным состоянием коры.

6. Проявленные в поясе Черского послескладчатые сбросовые поля напряжений с северо-восточным и субмеридиональным направлениями растяжения соответствуют системе неотектонических впадин.

«Плохим выводом» является то, что все еще очень значительная часть Верхоянского складчатой области — от Западно-Верхоянского надвигового шва на западе до пояса Черского на востоке — остается белым пятном в знаниях о действовавших полях напряжений. Без сомнения, скрытая там информация таит много нового и неожиданного в отношении развиваемых концепций. Вопрос в том, кто и когда решится ее раскрыть.

«Через годы, через расстояния» выражаю благодарность всем, кто так или иначе в 1989—1990 гг. способствовал проведению работ по изучению полей напряжений хр. Хараулах и Арга-Тас, моим университетским преподавателям, а также: Н. В. Гончар и А. Н. Джусу — за помощь в сборе полевых материалов, С. С. Драчеву — за организационную поддержку и плодотворные дискуссии.

Приложение

Приведены вероятностные стереограммы, характеризующие исходные кинематические данные для хребтов Северный Хараулах (рис. П1—П3) и Арга-Тас (рис. П4 — П6). Расположение

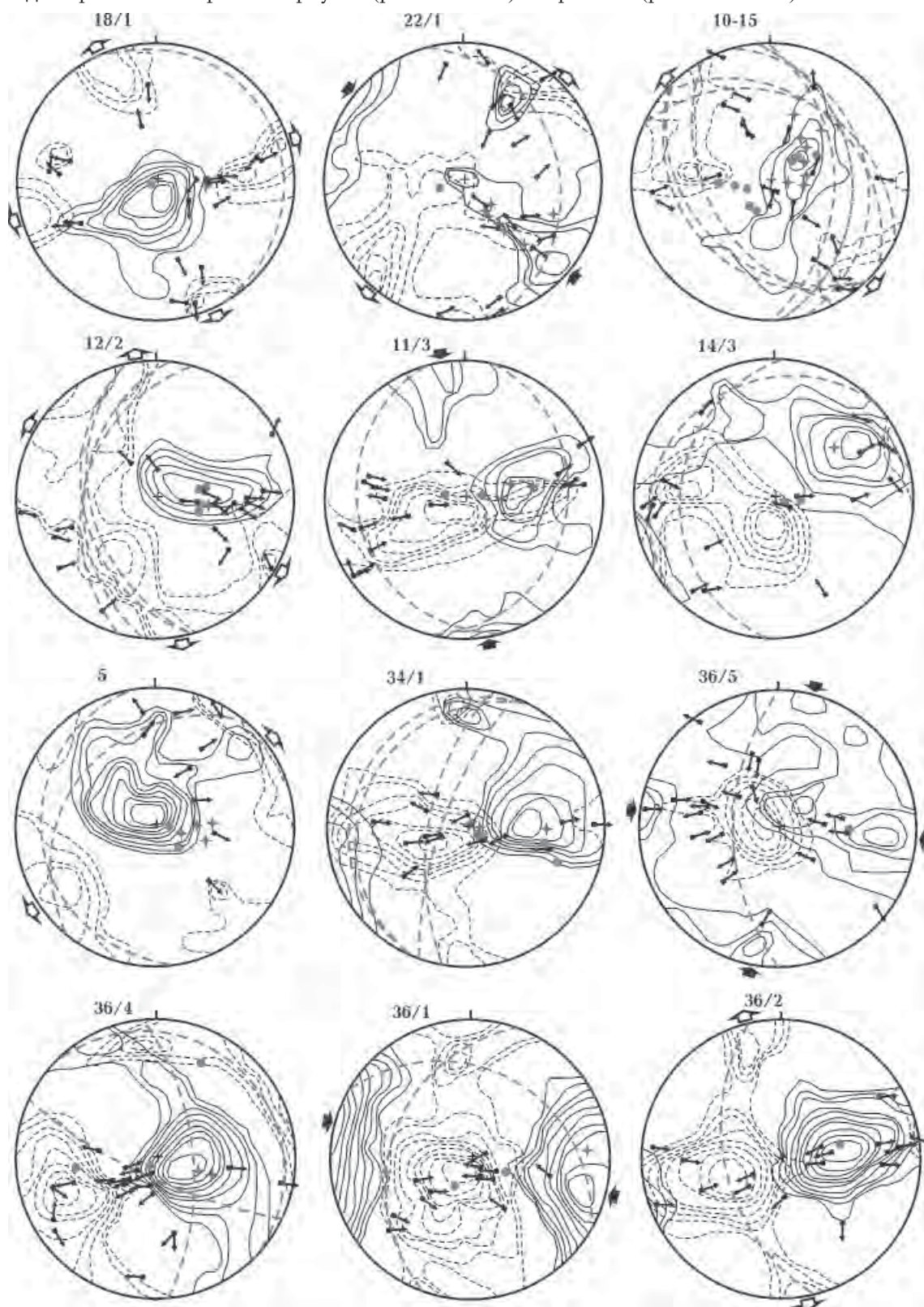


Рис. П1.

точек см. на рис. 2 и 4. Все построения выполнены на верхнюю полусферу. Условны обозначения см. на рис. 6.

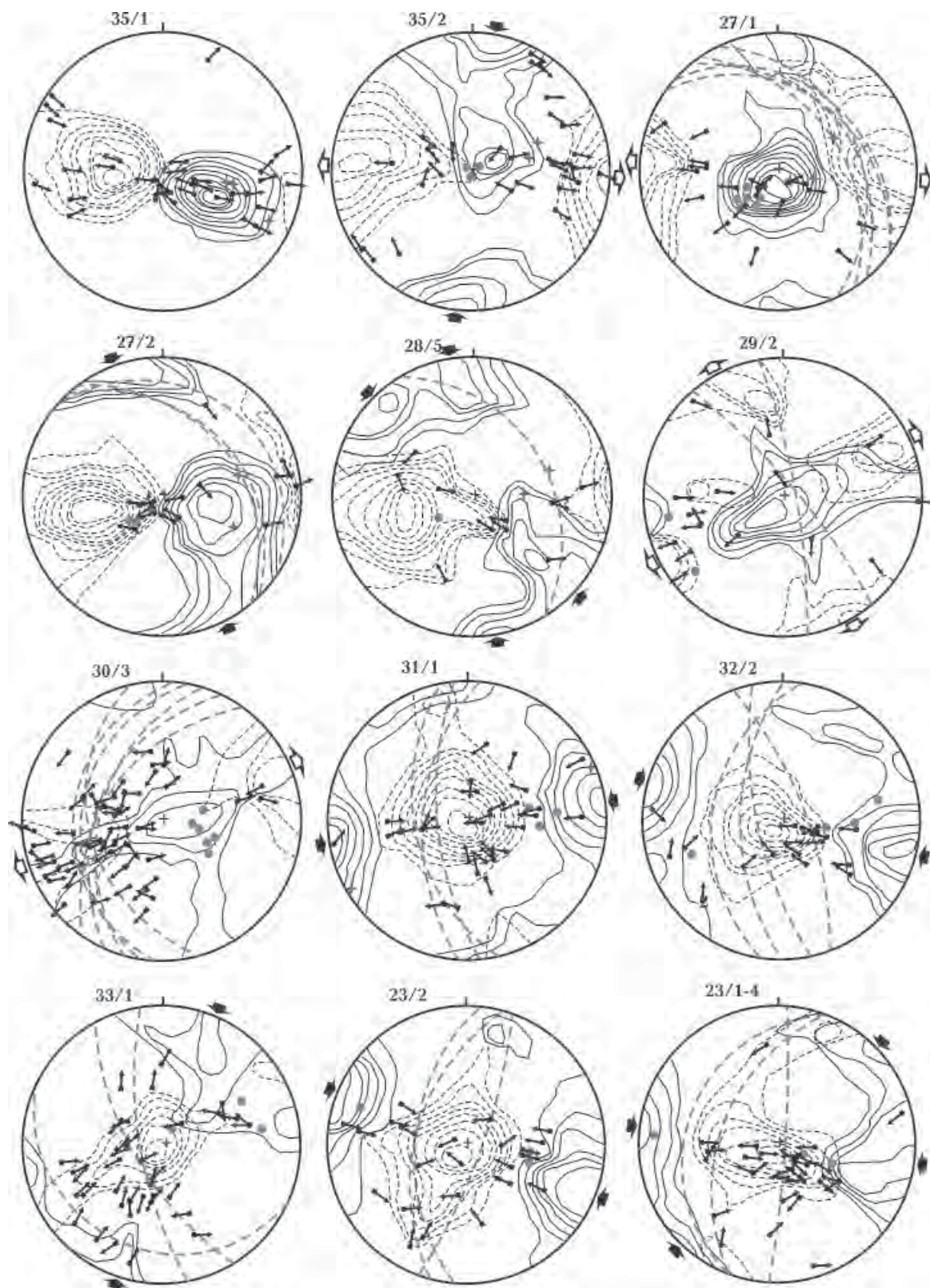


Рис. П2.

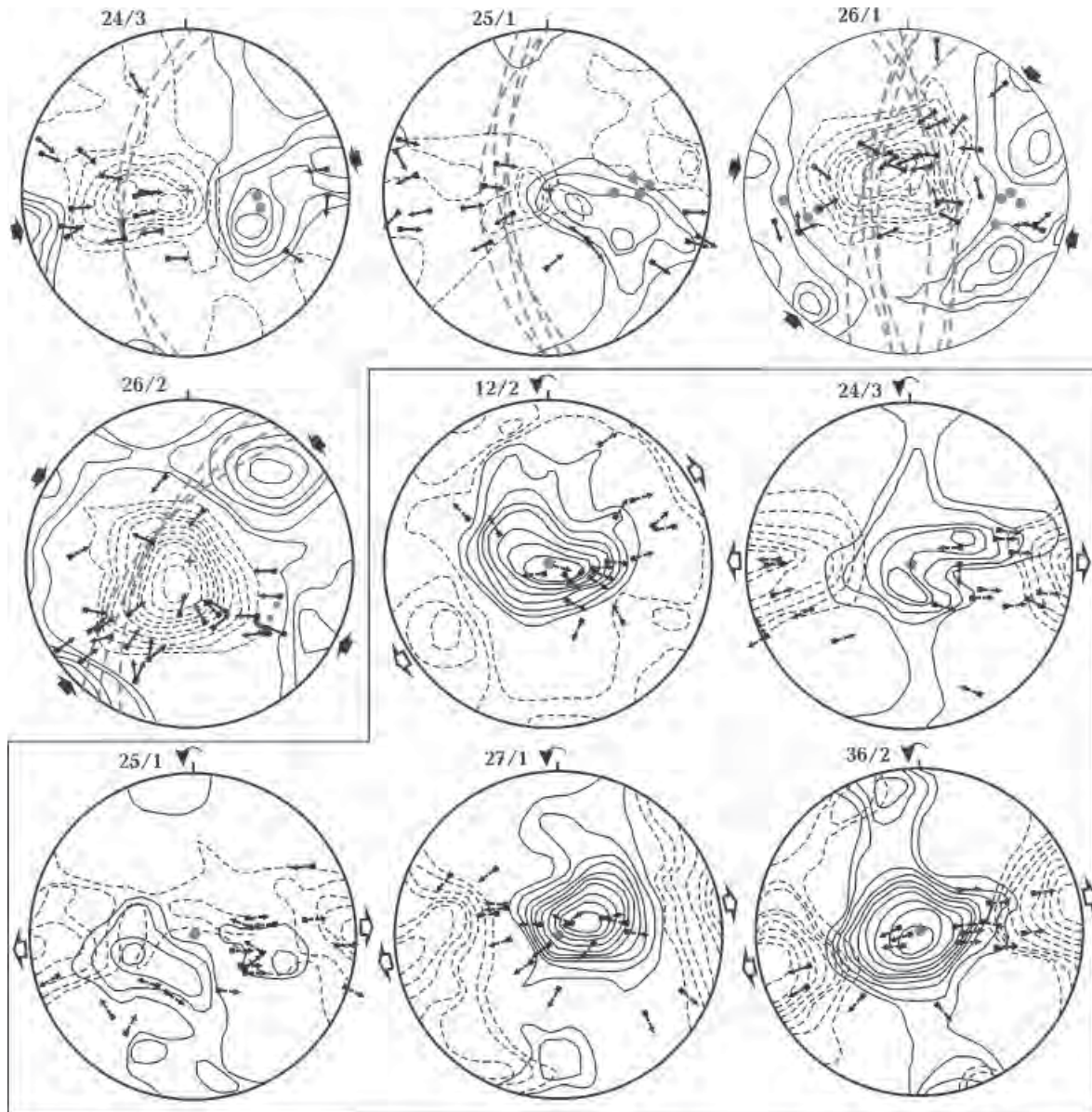


Рис. ПЗ.

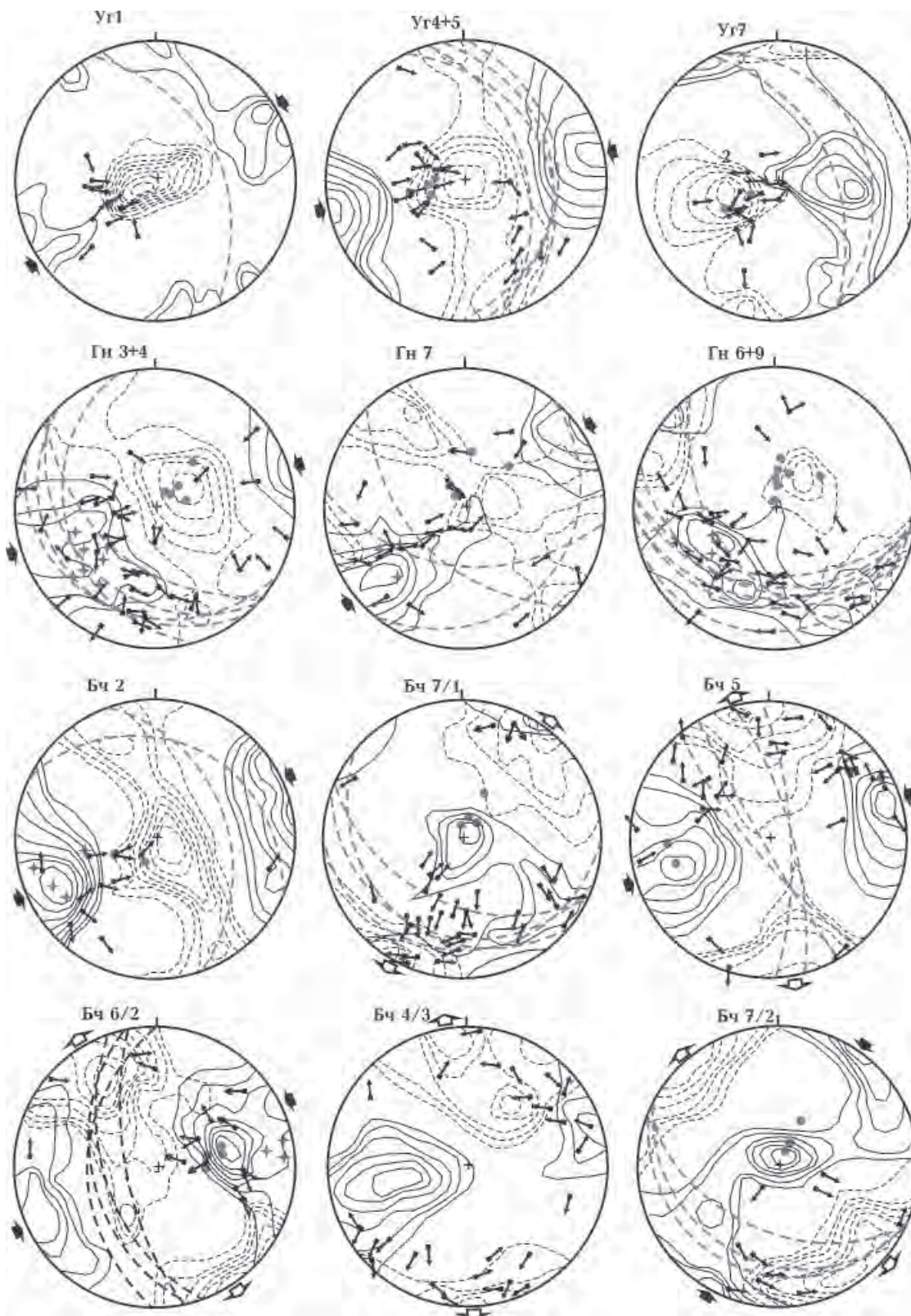


Рис. П4.

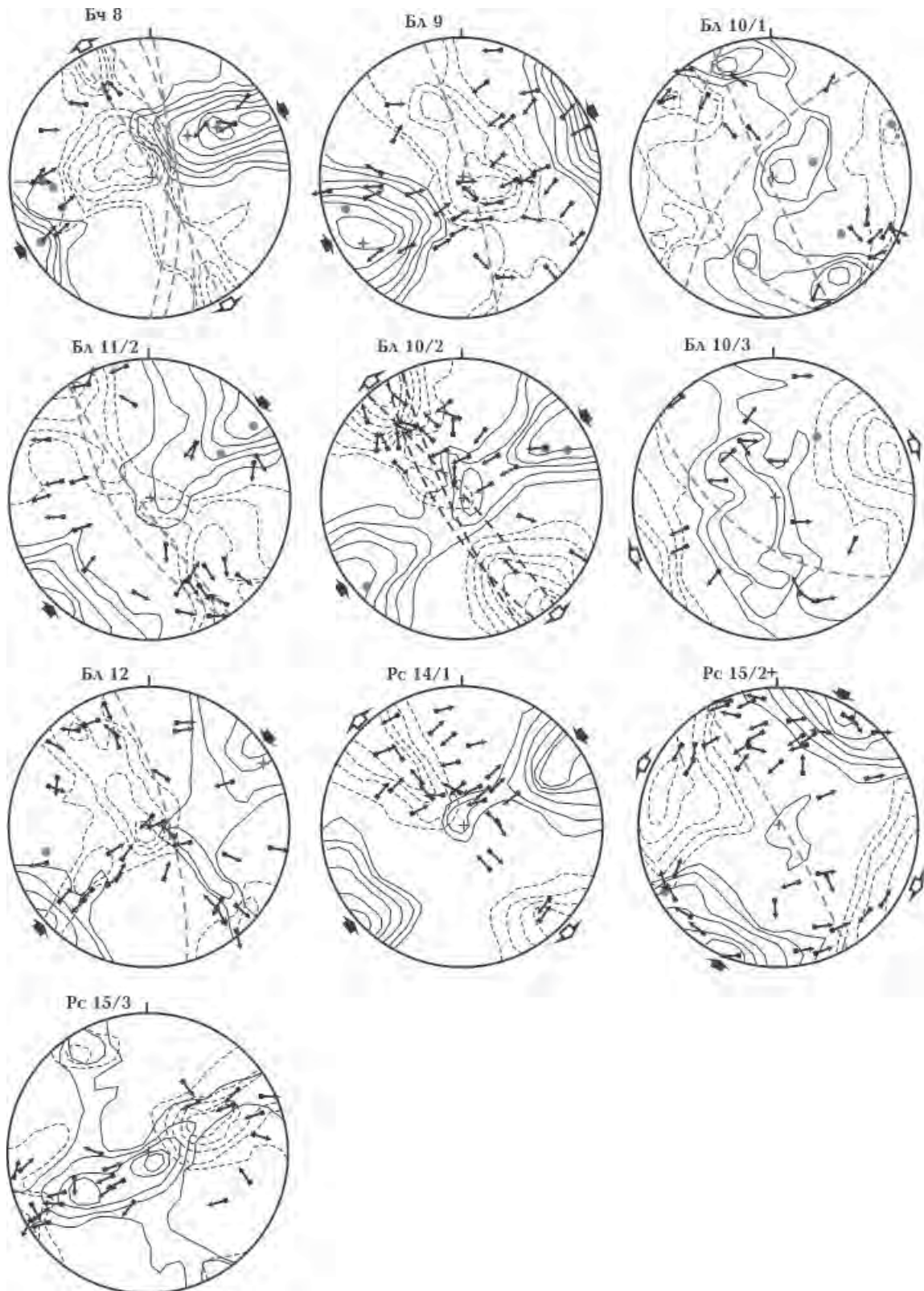


Рис. П5.

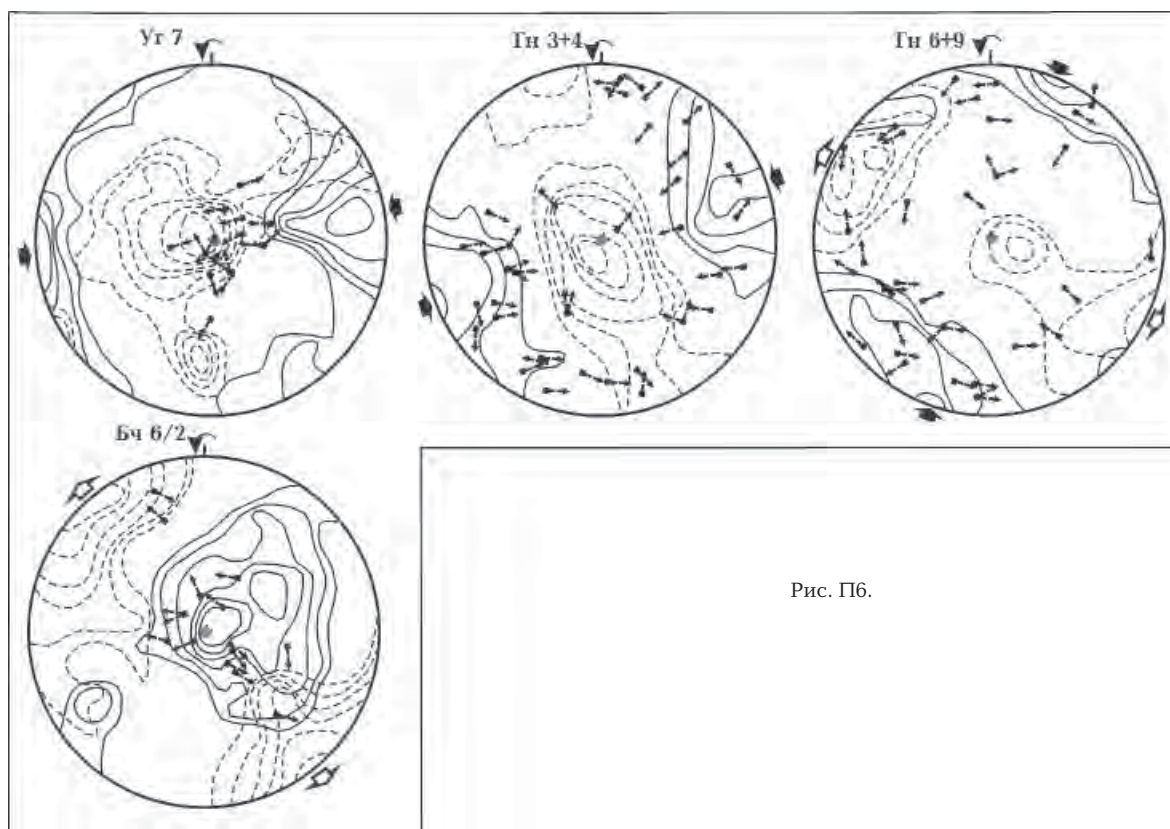


Рис. П6.

Список литературы

- Артемов А. В., Иванов И. Ю. Геологическое строение Момского континентального рифта. *Геотектоника*. 1988. № 2. С. 102—107.
- Архипов Ю. В., Климаш В. П., Попов Л. Н., Трушелев А. М., Шашкина И. А. Геологическое строение Бальнинского блока в центральной части Адыча-Тарынского разлома. *Геотектоника*. 1981. № 4. С. 78—89.
- Гайдук В. В., Гриненко О. В., Имаев В. С., Сяндюков И. Ш. Позднекайнозойская складчатость Илнью-Тасского антиклинория (Верхояно-Кольимская складчатая область). *Докл. АН СССР*. 1990. Т. 312. № 2. С. 431—434.
- Геологическая карта Якутской АССР. М-6 1:1 500 000. Якутск, 1975.
- Гинтов О. Б. Полевая тектонофизика и ее применение при изучении деформаций земной коры Украины. Киев: Феникс, 2005. 568 с.
- Гончар В. В. Выделение и корреляция пострифтовых осадочных серий на примере разрезов триаса Северного Верхоянья: Материалы совещания «Осадочные бассейны, седиментационные и постседиментационные процессы в геологической истории». Новосибирск, 2013а. С. 233—238.
- Гончар В. В. Напряженное состояние земной коры в пределах сейсмического пояса Черского. *Изв. вузов. Геология и разведка*. 1991. № 11. С. 28—35.
- Гончар В. В. О природе «зон пологих дислокаций» Верхоянской складчатой области. *Отечественная геология*. 2004. № 2. С. 63—69.
- Гончар В. В. Позднемезозойско-кайнозойская геодинамика Верхоянья — гравитационный коллапс или подъем мантии?: Материалы совещания «Области активного тектогенеза в современной и древней истории Земли». Москва: ГЕОС, 2006. С. 171—174.
- Гончар В. В. Поле напряжений Хараулахского хребта и проблема происхождения Верхоянского горно-складчатого сооружения. *Бюлл. Моск. о-ва испытателей природы*. 1998. № 3. С. 18—26.
- Гончар В. В. Последовательность полей напряжений и возраст складчатости Восточного Горного Крыма (по данным кинематического анализа с учетом вращения слоев). *Геофиз. журн.* 2013б. Т. 35. № 4. С. 170—175.
- Гончар В. В. Реология поднадвига, критерии аккреции (субдукции) чехла и морфотектоника орогенов: Материалы совещания «Общие и регио-

- нальные проблемы тектоники и геодинамики». Москва: ГЕОС, 2008. С. 208—212.
- Грачев А. Ф. Момский материковый рифт. *Геофизические методы разведки в Арктике*. 1973. Вып. 8. С. 56—75.
- Гусев Г. С. Складчатые структуры и разломы Верхояно-Колымской системы мезозойд. Москва: Наука, 1979. 206 с.
- Гущенко О. И. Метод кинематического анализа структур разрушения при реконструкции полей тектонических напряжений. В кн.: *Поля напряжений и деформаций в литосфере*. Москва: Наука, 1979. С. 7—25.
- Загорожный Д. Н. Структурная позиция месторождений Прогноз и Мангазейского Верхоянской серебряносной провинции. *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология*. 2002. № 3. С. 31—37.
- Загорожный Д. Н., Тихонова Н. В. Структуры серебряных месторождений Верхоянья. *Отечественная геология*. 2011. № 1. С. 59—71.
- Кошкарев В. А., Кузнецов В. М. Магматическая адвекция в формировании структуры Верхояно-Чукотской области. *Тихоокеанская геология*. 1993. № 3. С. 92—99.
- Мезозойская тектоника и магматизм Восточной Азии. Отв. ред. Ю. Г. Леонов. Москва: Наука, 1983. 232 с.
- Митрофанов Н. П. Геодинамические режимы в северо-западном секторе Тихоокеанского рудного пояса на рудном этапе формирования месторождений олова. *Тихоокеанская геология*. 2005. № 1. С. 59—72.
- Наймарк А. А. Момская рифтовая область. В кн.: *Новейшая тектоника, новейшие отложения и человек*. Москва: Изд-во Московского ун-та, 1980. Т. 7. С. 3—52.
- Оксман В. С. Тектоника коллизионного пояса Черского. Москва: ГЕОС, 2000. 269 с.
- Парфенов А. М. Два этапа мезозойской складчатости в Северном Верхоянье. *Геология и геофизика*. 1988. № 4. С. 3—10.
- Парфенов А. М., Наталов Л. М., Соколов С. Д., Цуканов Н. В. Террейны и аккреционная тектоника Северо-Востока Азии. *Геотектоника*. 1993. № 1. С. 68—78.
- Парфенов А. М., Оксман В. С., Прокопьев А. В., Рожин С. С., Тимофеев В. Ф., Третьяков Ф. Ф. Детальные структурные исследования в Верхоянье, их значение для крупномасштабного геологического картирования. В кн.: *Тектонические исследования в связи со средним и крупномасштабным геокартированием*. Москва: Наука, 1989. С. 109—127.
- Парфенов А. М., Прокопьев А. В., Спектор В. Б. Геодинамическая природа горных хребтов Якутии и их связь с раскрытием Евразийского бассейна. *Геология и геофизика*. 2001. Т. 42. № 4. С. 708—725.
- Паталаха Е. И., Гончар В. В. Растяжение в Горном Крыму: парадокс или закономерность? *Геол. журн.* 1999. № 4. С. 81—88.
- Паталаха Е. И., Гончар В. В., Трегубенко В. И. Новый взгляд на современный орогенез Горного Крыма: механизм процесса. *Геол. журн.* 2003. № 1. С. 118—126.
- Патык-Кара Н. Г., Гришин М. А. Место хр. Полоусного в структуре Северо-Востока СССР и его новейшая тектоника. *Геотектоника*. 1972. № 4. С. 90—98.
- Сим Л. А. Изучение тектонических напряжений по геологическим индикаторам (методы, результаты, рекомендации). *Изв. вузов. Геология и разведка*. 1991. № 10. С. 3—22.
- Соколов С. Д. Очерк тектоники Северо-Востока Азии. *Геотектоника*. 2010. № 6. С. 60—78.
- Ставский А. П. Аккреционная тектоника Аргатасской зоны (Северо-Восток СССР). *Геотектоника*. 1988. № 2. С. 84—91.
- Ставский А. П. Меловой магматизм и тектоника Алазейского плоскогорья. *Геотектоника*. 1981. № 4. С. 90—103.
- Тектоника, магматические и метаморфические комплексы Колымо-Омолонского массива. Отв. ред. Г. А. Гринберг, К. Н. Рудич. Москва: Наука, 1981. 358 с.
- Третьяков Ф. Ф. Складчатые структуры южной части Селенняхского хребта (Восточная Якутия). *Геотектоника*. 1996. № 4. С. 43—57.
- Третьяков Ф. Ф., Прокопьев А. В., Васильев Д. А. Тектонические структуры Мангазейского рудного узла. *Отечественная геология*. 2008. № 5. С. 42—49.
- Трунилина В. А., Роев С. П., Орлов Ю. С., Иванов А. И. Магматизм хребта Тас-Хаяхта. Якутск: Изд-во ЯГУ, 2009. 135 с.
- Фридовский В. Ю. Структура золоторудных полей и месторождений Яно-Колымского рудного пояса. В кн.: *Металлогения рядов коллизионных геодинамических обстановок*. Москва: ГЕОС, 2002. С. 6.
- Чехов А. Д. Тектоническая эволюция Северо-Востока Азии. Москва: Науч. мир, 2000. 204 с.

- Continental* extensional tectonics, 1987. Geol. Soc. Spec. Publ. London. V. 26. 611 p.
- Delacou B., Sue C., Champagnac J.-D., Burkhard M., 2004. Present-day geodynamics in the bend of the western and central Alps as constrained by earthquakes analysis. *Geophys. J. Int.* 158, 753—774.
- Malavielle J., 1993. Late orogenic extension in mountain belts: insights from the Basin and Range and the late Paleozoic Variscan belt. *Tectonics* 12(5), 1115—1130.
- Navabrou P., Angelier J., Barrier E., 2007. Cenozoic post-colisional brittle tectonic history and stress reorientation in the High Zagros Belt (Iran, Fars Province). *Tectonophysics* 432, 101—131.
- Prokopiev A. V., Fridovsky Yu. V., Deikunenko A. V., 1999. Some aspects of the tectonics of the Verkhoyansk fold-and-thrust belt (Northeast Asia) and the structural setting of the Dyandi gold ore cluster. *Polarforschung* 69, 169—176.
- Saintot A., Angelier J., Chorowicz J., 1999. Mechanical significance of structural patterns identified by remote sensing studies: a multiscale analysis of tectonic structures in Crimea. *Tectonophysics* 313, 187—218.

Review of the data on strain fields of Mesozoides of Northeast of Asia obtained by kinematic method

© V. V. Gonchar, 2016

Reconstruction has been made, the data have been summarized and analyzed, which characterize the strain fields of different areas of Mesozoides of Northeast of Asia (Verkhoyano-Kolymian folded area). Strain fields of the North Kharaulakh and Arga-Tas ridge have been investigated based on area kinematic mapping; for internal areas (Middle Verkhoyania and Cherskogo zone) direct and indirect published data on fault kinematics have been attracted. Discrimination of strain fields responsible for production of basic folded structure as well as pre- and post-folding fields has been carried out. Orientations obtained for axes of the main stresses describe multistage spatially heterogeneous conditions of Mesozoides deformation under conditions of pressure, plastic and fragile tension and, to less extent, displacement. Pre-folding stretching has been found in the Verkhoyan series of the North Kharaulakh; conditions of post-folding fragile tension are widely distributed in different domains of the Cherskogo zone. Deformational conditions being reconstructed for North Kharaulakh and Arga-Tas ridge coincide with contemporary field of strains detected by seismological data.

Key words: Verkhoyan-Kolymian Mesozoides system, strain fields, kinematic method of reconstruction, mechanisms of structures formation.

References

- Artemov A. V., Ivanov I. Yu., 1988. Geological structure Moma continental rift. *Geotektonika* (2), 102—107 (in Russian).
- Arkhipov Yu. V., Klimash V. P., Popov L. N., Trusheliev A. M., Shashkina I. A., 1981. Geological structure Balyninsk block in the central part Adycha-Tarynsk fault. *Geotektonika* (4), 78—89 (in Russian).
- Gayduk V. V., Grinenko O. V., Imaev V. S., Syundyukov I. Sh., 1990. Late Cenozoic folding Ilin-Tassk anticlinorium (Verkhoyansk-Kolyma folded region). *Doklady AH SSSR* 312(2), 431—434 (in Russian).
- Geological map of the Yakut ASSR. 1:1 500 000.* Yakutsk, 1975 (in Russian).
- Gintov O. B., 2005. Field Tectonophysics and its application for the study of the deformations of the Earth's crust of Ukraine. Kiev: Feniks, 568 p.
- Gonchar V. V., 2013a. Isolation and correlation postrift sedimentary series in the example sections of the Triassic of North Verkhoyanye: *Proc. of the meeting "Sedimentary basins, sedimentation and postsedimentary processes in geological history"*. Novosibirsk, P. 238—233 (in Russian).
- Gonchar V. V., 1991. Stress state of the Earth's crust within the seismic belt Cherskogo. *Izvestiya vuzov. Geologiya I razvedka* (11), 28—35 (in Russian).
- Gonchar V. V., 2004. On the nature of «zones of shallow dislocation» Verkhoyansk folded region. *Otechestvennaya geologiya* (2), 63—69 (in Russian).
- Gonchar V. V., 2006. Late Mesozoic-Cenozoic geodynamics Verkhoyanye — gravitational collapse or the rise of mantle?: *Proc. of the meeting «Areas of active orogeny in the modern and the ancient history of the earth»*. Moscow: GEOS, P. 174—171 (in Russian).

- Gonchar V. V., 1998. Stress field Kharaulakh ridge and the problem of the origin of the Verkhoyansk mountain-folded structure. *Byulleten Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody* (3), 18—26 (in Russian).
- Gonchar V. V., 2013b. Sequence of stress fields and age of folding Eastern Mountain Crimea (according to the kinematic analysis taking into account the rotation of the layers). *Geofizicheskiy zhurnal* 35(4), 170—175 (in Russian).
- Gonchar V. V., 2008. Rheology under the thrust, criteria accretion (subduction) and cover morphotectonics Orogens: *Proc. Of the meeting «General and regional problems of tectonics and geodynamics»*. Moscow: GEOS, P. 212—208 (in Russian).
- Grachev A. F., 1973. Moma continental rift. *Geofizicheskiye metody razvedki v Arktike* (is. 8), 56—75 (in Russian).
- Gusev G. S., 1979. Folded structures and breaks the Verkhoyansk-Kolyma Mesozoides system. Moscow: Nauka, 206 p. (in Russian).
- Gushchenko O. I., 1979. Method of kinematic analysis of the structures of destruction in the reconstruction of tectonic stress fields. In: *Fields of stresses and deformations in the lithosphere*. Moscow: Nauka, P. 7—25 (in Russian).
- Zadorozhnyy D. N., 2002. Structural position of deposits and forecast Mangazeytsky Verkhoyansk serebryanosnoy province. *Vestnik Moskovskogo Universitet. Ser. 4. Geologiya* (3), 37—31 (in Russian).
- Zadorozhnyy D. N., Tikhonov N. V., 2011. Structures Verkhoyanye silver deposits. *Otechestvennaya geologiya* (1), 59—71 (in Russian).
- Koshkarev V. L., Kuznetsov V. M., 1993. Magmatic advection in shaping the structure of the Verkhoyansk-Chukotka region. *Tikhookeanskaya geologiya* (3), 92—99 (in Russian).
- Mesozoic tectonics and magmatism of East Asia, 1983. Ed. Yu. G. Leonov. Moscow: Nauka, 232 p. (in Russian).
- Mitrofanov N. P., 2005. Geodynamic regimes in the north-western sector of the Pacific ore belt in the stage of formation of ore deposits of tin. *Tikhookeanskaya geologiya* (1), 59—72 (in Russian).
- Naymark A. A., 1980. Moma Rift region. In: *The newest tectonics, new deposits and man*. Moscow: Publ. House of the Moscow University, Vol. 7, P. 3—52 (in Russian).
- Oksman V. S., 2000. Tectonics Cherskogo conflict zone. Moscow: GEOS, 269 p. (in Russian).
- Parfenov L. M., 1988. Two stages of Mesozoic folding in North Verkhoyanye. *Geologiya i geofizika* (4), 3—10 (in Russian).
- Parfenov L. M., Natapov L. M., Sokolov S. D., Tsukanov N. V., 1993. Terranes and accretion tectonics of Northeast Asia. *Geotektonika* (1), 68—78 (in Russian).
- Parfenov L. M., Oksman V. S., Prokopyev A. V., Rozhin S. S., Timofeev V. F., Tretyakov F. F., 1989. Detailed structural studies in Verkhoyansk, their importance for large-scale geological mapping. In: *Tectonic studies in connection with medium and large-scale geo-mapping*. Moscow: Nauka, P. 127—109 (in Russian).
- Parfenov L. M., Prokopyev A. V., Spektor V. B., 2001. Geodynamic nature of Yakutia mountain ranges and expanded by their relationship with the Eurasian basin. *Geologiya i geofizika* (4), 708—725 (in Russian).
- Patalakha E. I., Gonchar V. V., 1999. Stretching in the Crimean Mountains: a paradox or a pattern? *Geologicheskiy zhurnal* (4), 81—88 (in Russian).
- Patalakha E. I., Gonchar V. V., Tregubenko V. I., 2003. New look at modern orogeny Mountain Crimea: mechanism of the process. *Geologicheskiy zhurnal* (1), 118—126 (in Russian).
- Patyk-Kara N. G., Grishin M. A., 1972. Ridge Polousnogo place in the structure of the North-East of the USSR and its newest tectonics. *Geotektonika* (4), 90—98 (in Russian).
- Sim L. A., 1991. Study of tectonic stresses on geological indicators (methods, results, recommendations). *Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka* (10), 3—22 (in Russian).
- Sokolov S. D., 2010. Essay tectonics of Northeast Asia. *Geotektonika* (6), 60—78 (in Russian).
- Stavskiy A. P., 1988. Accretion tectonics Arga-Tassk zone (Northeast USSR). *Geotektonika* (2), 84—91 (in Russian).
- Stavskiy A. P., 1981. Cretaceous magmatism and tectonics Alazeya plateau. *Geotektonika* (4), 90—103 (in Russian).
- Tectonics, igneous and metamorphic complexes of the Kolyma-Omolonsky array*. Ans. Eds. G. A. Grinberg, K. N. Rudich. Moscow: Nauka, 1981, 358 p. (in Russian).
- Tretyakov F. F., 1996. Folded structure of the southern part of Selennyakh Ridge (Eastern Yakutia). *Geotektonika* (4), 57—43 (in Russian).
- Tretyakov F. F., Prokopyev A. V., Vasilyev D. A., 2008. Tectonic structure Mangazeytsky ore unit. *Otechestvennaya geologiya* (5), 42—49 (in Russian).

- Trunilina V. A., Roev S. P., Orlov Yu. S., Ivanov A. I., 2009.* Magmatism Ridge Tas-Khayakhtakh Range. Yakutsk: YSU Publishing House, 135 p.
- Fridovskiy V. Yu., 2002.* Structure gold fields and deposits Yano-Kolyma ore belt. In: Metallogeny series collision geodynamic environments. Moscow: GEOS, P. 6 (in Russian).
- Chekhov A. D., 2000.* Tectonic Evolution of the North-East Asia. Moscow: Nauchnyy Mir, 2000. 204 p.
- Continental extensional tectonics, 1987.* Geol. Soc. Spec. Publ. London. V. 26. 611 p.
- Delacou B., Sue C., Champagnac J.-D., Burkhard M., 2004.* Present-day geodynamics in the bend of the western and central Alps as constrained by earthquakes analysis. *Geophys. J. Int.* 158, 753—774.
- Malavielle J., 1993.* Late orogenic extension in mountain belts: insights from the Basin and Range and the late Paleozoic Variscan belt. *Tectonics* 12(5), 1115—1130.
- Navabrou P., Angelier J., Barrier E., 2007.* Cenozoic post-colisional brittle tectonic history and stress reorientation in the High Zagros Belt (Iran, Fars Province). *Tectonophysics* 432, 101—131.
- Prokopiev A. V., Fridovsky Yu. V., Deikunenko A. V., 1999.* Some aspects of the tectonics of the Verkhojansk fold-and-thrust belt (Northeast Asia) and the structural setting of the Dyandi gold ore cluster. *Polarforschung* 69, 169—176.
- Saintot A., Angelier J., Chorowicz J., 1999.* Mechanical significance of structural patterns identified by remote sensing studies: a multiscale analysis of tectonic structures in Crimea. *Tectonophysics* 313, 187—218.